

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Racionalizace technologie obrábění formy pro
vstřikování plastů

(Rationalization of Machining Technology of Mold
for Plastic Injection)

Student:

Bc. Martin Hanzlík

Vedoucí diplomové práce: Ing.et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Hanzlík**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Racionalizace technologie obrábění formy pro vstřikování plastů**
Rationalization of Machining Technology of Mold for Plastic Injection

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky obrábění nástrojových ocelí.
2. Rozbor stávající technologie výroby.
3. Návrh inovativního řešení technologie výroby.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení návrhu.
5. Závěrečné zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [2] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [4] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.**


Konzultant diplomové práce: Bc. Michal Sněhota

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015


Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 24. 4. 2015

..... Martin Havelík

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 ods. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě24. 4. 2015.....

.....*Martin Hanzlík*.....

podpis studenta

Bc. Martin Hanzlík

Osmilány 16

747 27 Koberice

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HANZLÍK, Martin. *Racionalizace technologie obrábění formy pro vstřikování plastů*. Ostrava: Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2015, 69 s. Diplomová práce, vedoucí práce: Petrů, Jana.

Diplomová práce se zabývá návrhem nové technologie obrábění dílu formy pro vstřikování plastů a porovnáním současné a navržené technologie výroby. V první části je proveden rozbor stávající technologie výroby dílu formy spolu s použitými stroji a nástroji, které byly při stávající výrobě použity. Na základě rozboru stávající technologie výroby je v druhé části proveden návrh nové technologie výroby se zaměřením na návrh produktivnějších nástrojů pro obrábění a volba obráběcího stroje. V závěrečné části diplomové práce se provádí srovnání a vyhodnocení navržené technologie výroby se současnou technologií výroby.

ANOTATION OF THESIS

HANZLÍK, Martin. *Rationalization of Machining Technology of Mold for Plastic Injection*. Ostrava: Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2015, 69 p. Diploma thesis, head: Petrů, Jana.

This thesis deals of proposal of new technology machining part mold for plastic injection and comparing current and proposed technology. The first part is an analysis of the existing technology of part mold together with the used machines and tools that were used in current production. Based on the analysis of the existing technology is the second part of the design of a new technology focused on design productive tools for machining and machine tool selection. In the final part of the thesis makes a comparison and evaluation of our technology with current technologies.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
Úvod	11
1 Obrábění forem z nástrojových ocelí	13
1.1 Obrobitelnost materiálu 1.2311 (40CrMnMo7).....	13
1.2 Vysokorychlostní obrábění forem	15
1.3 Volba optimálního nástroje pro obrábění forem.....	16
1.4 Frézovací strategie při obrábění forem	17
1.4.1 Hrubování	17
1.4.2 Dokončování.....	18
1.4.3 Obrábění rohů	19
1.4.4 Najíždění a vyjíždění nástroje z řezu	20
1.5 Elektroerozivní obrábění forem	21
1.6 Obrábění forem miniaturními frézami.....	23
2 Rozbor stávající technologie výroby	25
2.1 Popis vybraného dílu	25
2.2 Materiál součásti	26
2.3 Díl vylisku.....	27
2.4 Popis formy pro vstřikování plastů	28
2.5 Obecný postup při výrobě tvarových dílů formy	30
2.6 Použité stroje při výrobě součásti	31
2.7 Technologický postup stávající výroby	36
2.8 Použité nástroje při stávající výrobě	37
2.8.1 Kopírovací fréza	38
2.8.2 Kulové frézy	40
2.8.3 Stopková fréza	40
2.8.4 Řezné parametry	41
2.8.5 Elektrody pro elektroerozivní obrábění	42
3 Návrh inovativního řešení technologie výroby	43
3.1 Volba stroje.....	43
3.2 Návrh produktivních nástrojů	46
3.2.1 Kopírovací fréza	46

3.2.2	Fréza s kulovým čelem	47
3.2.3	Monolitní kulové frézy	48
3.2.4	Miniaturní kulové frézy	49
3.2.5	Čelní stopková fréza pro dokončování	50
3.2.6	Řezné parametry	51
3.2.7	Elektrody pro elektroerozivní obrábění	51
4	Realizace programu v CAM systému Mastercam	52
4.1	Mastercam frézování.....	52
4.2	Tvorba programu	54
5	Technicko-ekonomické zhodnocení návrhu	57
5.1	Stanovení úspory času při výrobě dílu.....	57
5.2	Porovnání současné a navržené technologie.....	59
5.3	Porovnání nákladů na výrobu dílu	59
	Závěr	61
	Seznam použité literatury	63
	Seznam obrázků	66
	Seznam tabulek	68
	Seznam příloh.....	69

Seznam použitých značek a symbolů

a_e	-	Radiální hloubka řezu	[mm]
a_p	-	Axiální hloubka řezu	[mm]
CAD	-	Computer Aided Design – počítačová podpora konstruování	[-]
CAM	-	Computer Aided Manufacturing – přímé řízení výroby počítačem	[-]
CBN	-	Cubic Boron Nitride – polykrystalický kubický nitrid bóru	[-]
C_G	-	Cena materiálu pro výrobu grafitových elektrod	[Kč]
CNC	-	Computer Numeric Control – počítačem číslicově řízený stroj	[-]
CrN	-	Chromium Nitride – nitrid chromu	[-]
D	-	Průměr frézy	[mm]
d	-	Průměr upínací stopky nástroje	[mm]
d_1	-	Průměr díry pro upínací šroub břitové destičky	[mm]
D_1	-	Průměr frézy	[mm]
D_2	-	Průměr upínací stopky nástroje	[mm]
D_3	-	Průměr frézy	[mm]
D_{5m}	-	Průměr těla nástroje kopírovací frézy	[mm]
DC	-	Direct current – stejnosměrný proud	[-]
D_c	-	Průměr frézy	[mm]
D_{c2}	-	Průměr frézy	[mm]
dh_6	-	Upínací průměr nástroje	[mm]
dm_m	-	Průměr upínací stopky nástroje	[mm]
dn_2	-	Průměr krku nástroje	[mm]
d_{th}	-	Velikost závitu pro upínání modulární frézy	[-]
EDM	-	Electric Discharge Machining – elektroerozivní obrábění	[-]
f	-	Posuv	[mm]
FBM	-	Feature Based Machining – funkce automatického programování	[-]
F_c	-	Řezná složka síly	[N]
F_f	-	Posuvová složka síly	[N]
F_p	-	Pasivní složka síly	[N]
f_z	-	Posuv na zub	[mm]
H	-	Délka těla nástroje modulární frézy	[mm]
H_A	-	Hodinová sazba pro elektroerozivní hloubičku Agietron Sprint 3	[Kč]
HB	-	Tvrdost materiálu dle Brinella	[-]
H_H	-	Hodinová sazba pro CNC frézku HWT D-442 CNC	[Kč]
H_K	-	Hodinová sazba konstruktéra grafitových elektrod	[Kč]

H_M	-	Hodinová sazba pro CNC obráběcí centrum MCV 750 Sprint	[Kč]
H_P	-	Hodinová sazba programátora CNC strojů	[Kč]
HRC	-	Tvrdost materiálu dle Rockwella	[-]
HSC	-	High Speed Cutting – vysokorychlostní obrábění	[-]
HSM	-	High Speed Machining – vysokorychlostní obrábění	[-]
H_T	-	Hodinová sazba pro CNC obráběcí centrum Trimill Speed 1110	[Kč]
iC	-	Velikost břitové destičky	[mm]
IGES	-	Initial Graphics Exchange Specification – formát souboru CAD	[-]
K	-	Skupina slinutých karbidů – pro materiály tvořící krátkou třísku	[-]
L	-	Celková délka nástroje	[mm]
l_1	-	Programovací délka nástroje	[mm]
L_1	-	Řezná délka nástroje	[mm]
l_2	-	Celková délka nástroje	[mm]
L_3	-	Celková délka nástroje	[mm]
l_3	-	Délka maximálního vyložení nástroje	[mm]
l_4	-	Řezná délka nástroje	[mm]
l_n	-	Délka krku nástroje	[mm]
M	-	Skupina slinutých karbidů – pro materiály tvořící střední třísku	[-]
M	-	Velikost závitu pro upínání modulární frézy	[-]
MR_{tot}	-	Výsledná obrobiteľnosť materiálu	[-]
NC	-	Numerical Control – číslicové řízení	[-]
N_N	-	Náklady na výrobu dílu navrženou technologií výroby	[Kč]
N_S	-	Náklady na výrobu dílu současnou technologií výroby	[Kč]
P	-	Skupina slinutých karbidů – pro materiály tvořící dlouhou třísku	[-]
PA6	-	Polyamid (silon)	[-]
PT	-	Porovnání technologií	[%]
PVD	-	Physical Vapor Deposition – fyzikální metoda povlakování	[-]
R_a	-	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	[μm]
r_ε	-	Poloměr zaoblení špičky břitové destičky	[mm]
s	-	Tloušťka břitové destičky	[mm]
SK	-	Slinutý karbid	[-]
t_{FE}	-	Čas frézování elektrod pro EDM	[h]
TiAlN	-	Titanium Aluminium Nitride – nitrid titanu a hliníku	[-]
TiC	-	Titanium Carbide – karbid titanu	[-]
TiCN	-	Titanium Carbo-Nitride – karbo-nitrid titanu	[-]

TiN	-	Titanium Nitride – nitrid titanu	[-]
TiSiN	-	Titanium Silicon Nitride – nitrid titanu a křemíku	[-]
t_N	-	Čas výroby dílu navrženou technologií obrábění	[h]
t_{NE}	-	Čas elektroerozivního hloubení – navržená technologie výroby	[h]
t_{NF}	-	Čas frézování (přední strana) – navržená technologie výroby	[h]
t_{PE}	-	Čas přípravy řídicích programů pro obrábění grafitových elektrod	[h]
t_{PF}	-	Čas přípravy řídicího programu pro CNC obráběcí centrum	[h]
t_{PM}	-	Čas modelování jednotlivých elektrod	[h]
t_{PVA}	-	Čas přípravy a seřízení elektroerozivní hloubičky	[h]
t_{PVE}	-	Čas přípravy a seřízení frézky pro obrábění grafitových elektrod	[h]
t_{PVF}	-	Čas přípravy a seřízení CNC obráběcího centra	[h]
t_S	-	Čas výroby dílu současnou technologií obrábění	[h]
t_{SE}	-	Čas elektroerozivního hloubení – současná technologie výroby	[h]
t_{SF}	-	Čas frézování (přední strana) – současná technologie výroby	[h]
UC	-	Úspora času při výrobě jednoho dílu	[h]
UN	-	Úspora nákladů při výrobě jednoho dílu	[Kč]
VB	-	Opotřebení na hřbetě nástroje	[mm]
VBD	-	Vyměnitelná břitová destička	[-]
VB_{max}	-	Maximální opotřebení na hřbetě nástroje	[mm]
v_c	-	Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
W	-	Nulový bod obrobku	[-]
Z	-	Celkový počet břitů frézy	[-]
z_n	-	Celkový počet břitů frézy	[-]
α_o	-	Nástrojový ortogonální úhel hřbetu	[°]
γ_f	-	Nástrojový boční úhel čela	[°]
γ_o	-	Nástrojový ortogonální úhel čela	[°]
γ_p	-	Nástrojový zadní úhel čela	[°]

Úvod

Dnešní moderní doba neustále klade větší nároky na kvalitu výroby a vyšší produktivitu práce. Stále více dochází k nahrazování konvenčních obráběcích strojů za modernější a výkonnější CNC obráběcí stroje. Neustále je obměňováno strojní vybavení podniků za nové, výkonnější stroje, produktivnější nástroje i software. Tyto technologie napomáhají ke zkrácení času výroby, zlepšení kvality výrobků a snížení výrobních nákladů.

Rozvoj obráběcích strojů jde nezvratným tempem vpřed. Řídicí systémy obráběcích strojů obsahují stále více funkcí a pro obsluhu stroje přinášejí stále větší komfort v ovládání. Při využití počítačového software CAM (Computer Aided Manufacturing), pro programování CNC obráběcích strojů, při konkrétní znalosti obráběcího stroje a technologie obrábění, je schopen navrhnout nejvhodnější dráhy nástrojů pro obrábění tak, aby byla výroba součástí co nejefektivnější.

Významným trendem, který se v oblasti obrábění rychle rozvíjí, je využití vysokých rychlostí obrábění, tzv. HSC (High Speed Cutting). Tato vysoceproduktivní technologie ovšem vyžaduje vysoké nároky jak na stroj, nástroje, přípravky, tak i na obsluhu stroje, technologickou přípravu výroby a hlavně vyšší nároky na bezpečnost provozu. Zavedení těchto technologií do výroby je značně finančně náročné, avšak v dnešní době, dá se říct, již nezbytné.

Je potřeba sledovat nové trendy v oblasti obrábění, aby se firma stala konkurenceschopná a neztratila své postavení na nynějším trhu. Je nezbytně nutné vynaložit úsilí k modernizaci výroby, zavádění nových technologií a školení pracovníků, aby nedošlo k pohlcení zakázek vlivem nízkých cen moderních velkých firem.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem nové technologie obrábění dílu formy pro vstřikování plastů, zadaná firmou **S-KUNSTSTOFFTECHNIK s.r.o.** v Kravařích.

Cílem této diplomové práce je návrh nové technologie obrábění zadaného dílu formy pro vstřikování plastů. Tento nový návrh technologie obrábění povede ke snížení výrobních časů, nákladů na výrobu daného dílu a k celkovému zefektivnění výroby dané součásti.

V diplomové práci bude nejprve proveden rozbor stávající technologie výroby daného dílu. Následně se provede rozbor používaných strojů a nástrojů při stávající výrobě. V druhé části se práce bude zabývat návrhem nové technologie výroby součásti se zvolením nových produktivních nástrojů pro obrábění a volbou obráběcího stroje.

V závěru diplomové práce bude provedeno technicko-ekonomické zhodnocení navržené technologie výroby.

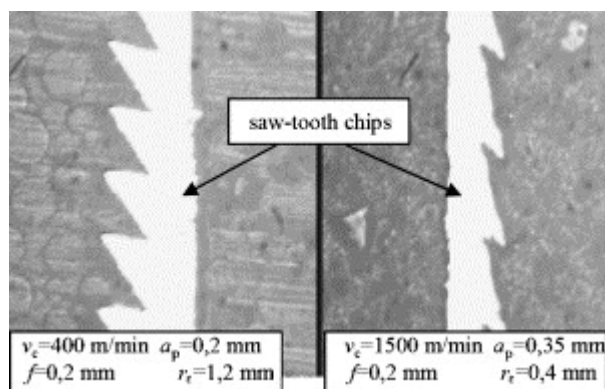
1 Obrábění forem z nástrojových ocelí

Pro výrobu středních až středně velkých forem se využívá nástrojové oceli 1.2311 (40CrMnMo7). U těchto ocelí se požaduje vysoká tvrdost, pevnost, dostatečná houževnatost, odolnost proti opotřebení, kalitelnost a lešitelnost.

Obrábění forem z nástrojových ocelí se stále více stává populární, zejména v automobilovém průmyslu, potravinářském průmyslu, pro lisování pryže, tlakové lití atd. Pro obrábění forem z nástrojových ocelí se využívá různých druhů technologií, zejména však frézování a pro tvarově složité části formy elektroerozivní obrábění.

1.1 Obrobitelnost materiálu 1.2311 (40CrMnMo7)

Při zkoušce obrobitelnosti soustružením materiálu 40CrMnMo7 vzorek vytváří pilovitou třísku. Tříška se skládá hlavně z nedeformovatelného základního materiálu z temperované martenzitické struktury. V průběhu tvorby třísky vzniká vlivem tření teplo, které zahřívá třísku. Při vyšších řezných rychlostech nedochází k tak velkému zahřívání břitu nástroje, vlivem intenzivního zahřívání v oblasti řezání dochází ke změkčení materiálu, což má příznivý vliv na životnost nástroje. Pokud dojde k překročení rychlosti obrábění, může dojít ke spálení zrn v hraniční vrstvě a hrozí nebezpečí vzniku trhlin [1].



Obr. 1.1 Tvar třísky při obrábění oceli 1.2311 (40CrMnMo7) [1]

Pro každé konkrétní kritéria obrobitelnosti a aplikace obrábění je nutno zvolit optimální řezné parametry. Při obrábění s nestabilní hloubkou řezu se projeví nerovnoměrné opotřebení břitu nástroje.

Řezným nástrojem byl při experimentu použit polykrystalický kubický nitrid bóru CBN 25 s geometrií CNMA 1204. Výstupní odečítané hodnoty VB a VB_{max} byly zaznamenávány v digitální podobě boků destiček nástroje. Jako způsob vyhodnocení byl použit generický algoritmus testování obrobitelnosti. Generický algoritmus je snadno

ovladatelný a nevyžaduje žádné konkrétní znalosti k dosažení daného problému. Je potřeba znát pouze závislost mezi parametry a funkce pro hodnocení možných řešení.

Experiment pro určení obrobiteľnosti byl proveden se čtyřmi nezávislými proměnnými: řezná rychlost (v_c), hloubka řezu (a_p), posuv (f) a poloměr špičky (r_ϵ). Předběžné testy sloužily pro stanovení vhodného rozsahu parametrů. Při řezných rychlostech vyšších než $800 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ bylo opotřebení příliš vysoké, a proto byly přijaty dvě úrovně řezných rychlostí 450 a $600 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Hloubka řezu a posuv byly v důsledku fyzikálních vlastností materiálu udržovány na nízké úrovni ($f_{\min} = 0,1 \text{ mm}$; $f_{\max} = 0,2 \text{ mm}$; $a_{p \min} = 0,2 \text{ mm}$; $a_{p \max} = 0,35 \text{ mm}$). Poloměr zaoblení břitové destičky r_ϵ se pohyboval v rozmezí $0,4$ až $1,2 \text{ mm}$. Všechny experimenty byly prováděny bez chlazení.

Bylo měřeno pět výstupních proměnných: dvě označovaly drsnost povrchu (R_a , R_{\max}) a tři zaznamenávaly řezné síly F_c , F_p a F_f . Po provedení regresní analýzy pěti matematických modelů se získala výstupní funkce. Výsledky obrobiteľnosti MR_{tot} definované několika kritérii jsou uvedeny v tabulce [1].

Tab. 1.1 Hodnocení obrobiteľnosti a vhodné řezné parametry [1]

Obrobiteľnost		Hodnocení obrobiteľnosti				Parametry obrábění			
Kritérium	MR_{tot}	MR_{R_a}	MR_p	MR_{F_c}	MR_{F_p}	v_c (mm)	a_p (mm)	f (mm)	r_ϵ (mm)
$\frac{R_a}{P^*}$	0,518489	0,600	0,864	0,085	0,135	600	0,35	0,179	1,004
$\frac{F_p}{P^*}$	0,285692	0,413	0,548	0,543	0,522	600	0,265	0,171	0,4
$\frac{F_c}{P^*}$	0,388954	0,412	0,530	0,734	0,470	600	0,21	0,2	0,528
$\frac{R_a \cdot F_p}{P^*}$	0,192013	0,853	0,417	0,506	0,540	600	0,268	0,142	1,031
$\frac{R_a \cdot F_c}{P^*}$	0,225668	0,663	0,487	0,699	0,469	600	0,222	0,188	0,898
$R_a \cdot F_p$	0,882296	0,993	0,091	0,931	0,889	600	0,2	0,1	1,019
$R_a \cdot F_c$	0,9431758	0,982	0,091	0,961	0,890	600	0,2	0,1	0,892

* $P = v_c, a_p, f$ – produktivita

Na základě testování obrobiteľnosti pomocí generického algoritmu pro ocel 40CrMnMo7 k výrobě forem dochází k silným vlivům výsledné hodnoty kritéria obrobiteľnosti. V důsledku tohoto testu je možné použít při vhodných řezných parametrech vyhovující řezné podmínky [1].

1.2 Vysokorychlostní obrábění forem

Vysokorychlostní obrábění HSC, někdy také označováno HSM, je spojeno s obráběním při vysokých otáčkách vřetena a vysokých posuvech za účelem dosažení vyjímečně vysokých parametrů obrábění. Aplikace použití, jako je výroba forem pro vstřikování plastů, zápustek, forem pro odlévání a tlakové lití, výroba prototypů forem nebo frézování grafitových a měděných elektrod, patří k hlavním oblastem využití vysokorychlostního obrábění [2].

Hlavní předností vysokorychlostního obrábění je nízká teplota řezného nástroje a obrobku, což v mnoha případech vede ke zvýšení jeho životnosti. Téměř veškeré vzniklé teplo vlivem vysoké řezné rychlosti je odváděno převážně třiskou. V průběhu obrábění vznikají nízké řezné síly, které způsobují menší a stálou výchylku nástroje, dochází k poklesu radiálních sil působících na nástroj a vřeteno. Nedochází proto k tak značnému opotřebení vřetena, vodítek a kuličkových šroubů.

Lze dosahovat velmi dobré jakosti obrobeného povrchu, často až $R_a = 0,2 \mu\text{m}$, zpravidla bez nebezpečí vzniku nežádoucích reziduálních pnutí na obrobeném povrchu. Vyšší geometrická přesnost forem a zápustek zjednodušuje následnou montáž. V důsledku vysoké hodnoty úběru ($\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$) docílíme vyššího objemu odebíraného materiálu při hrubování a při dokončování zvětšení obrobené plochy ($\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$) zvýšením řezné a posuvové rychlosti. Z ekologických aspektů lze považovat za výhodu možnost obrábění bez chlazení a tím úsporu nákladů na chladicí kapalinu a její likvidaci [3, 4].

Časté střídání vysokého zrychlení a zpomalení, rozběh a zastavení vřetena, způsobuje vysoké opotřebení vodítek, kuličkových šroubů a ložisek vřetena a přispívá ke zvýšení nákladů na údržbu stroje. Jsou kladeny vysoké požadavky na otáčky frézovacích vřeten 10000 až 80000 min^{-1} a maximální rychlost pracovních posuvů 10 až $40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ i více, což vede ke značným pořizovacím nákladům stroje. Je potřeba zajistit dobré plánovací práce procesu a nutné bezpečnostní opatření – bezpečnostní neprůstřelné kryty. Stroje musí zajistit bezpečné a přesné upínání nástrojů. Nástroje pro HSC obrábění jsou většinou konstruovány se speciálními požadavky. Samotné nástroje by neměly být těžké a měly by být dostatečně vyvážené [4].

1.3 Volba optimálního nástroje pro obrábění forem

Volba obráběcího nástroje hraje velmi důležitou roli při obrábění forem. Při frézování vysokými posuvy se doporučuje použití břitových destiček větších rozměrů, aby došlo k odebrání co největšího množství materiálu, jedná se zejména o vyměnitelné břitové destičky pro hrubování. Sortiment nástrojů pokračuje přes vyměnitelné kulové frézy menšího průměru až po monolitní karbidové frézy pro dokončovací obrábění formy [5].

Na základě specifických vlastností formy, především dle zaoblení rohů, jsou voleny vyměnitelné břitové destičky o průměrech 15 mm a větší. Při použití menších fréz je lepší zvolit monolitní karbidové stopkové frézy [5].



Obr. 1.2 Frézování vysokým posuvem nástrojem s VBD [5]

Vyměnitelné břitové destičky pro frézování vysokým posuvem se mohou lišit v závislosti na obráběném materiálu. Z největší části je využíváno břitových destiček ze slinutých karbidů povlakovaných metodou PVD, které mohou obsahovat jednu nebo více vrstev povlaku z TiC, TiN, TiCN, TiAlN, CrN apod. Rozsah nástrojových produktů pro tyto aplikace na výrobu forem zahrnuje i použití cermetů, běžné keramiky a CBN [2].

Dále je často využíváno monolitních karbidových čtyřbokých rohových fréz s dlouhými břity a profilem pro dělení třísek. Profil pro dělení třísek slouží k lepšímu rozdělení třísky na malé části, což vede k lepšímu úběru materiálu a odstranění třísek z oblasti řezu a k výrazně větší produktivitě a životnosti nástrojů díky rovnoměrnému zatížení [5].

Při vysokoposuvovém frézování by měla být fréza v záběru celým svým průměrem a v záběru by měla být destička aspoň svou jednou polovinou. Důležitým aspektem

při obrábění je vyložení nástroje, kdy u nástrojů s dlouhým vyložení, pracujícím při vyšších rychlostech, dochází ke vzniku vibrací, které vedou k vylamování břitů, předčasnému opotřebení nástroje a hlavně ke zhoršené kvalitě obrobeného povrchu. Pokud se požaduje vyšší životnost nástroje, mělo by být použito speciálních držáků nástrojů tlumících vibrace v kombinaci s vyspělými frézami. Při použití i těch nejlepších nástrojů v držáku běžného provedení nedosáhnou optimálního výkonu a životnosti [5].

1.4 Frézovací strategie při obrábění forem

Vlivem rozvoje progresivnějších technologií, jako jsou HSC, suché a tvrdé obrábění, se otevírají nové možnosti v oblasti výroby forem. Progresivnější technologie značně zkracují celý výrobní proces, jelikož podstatná část výroby je realizována frézováním.

K uplatnění tvrdého vysokorychlostního obrábění musí být striktně dodržovány určité technologické zásady, a to nejen při stanovování řezných parametrů, nástrojů atd., ale i při volbě frézovacích strategií [6].

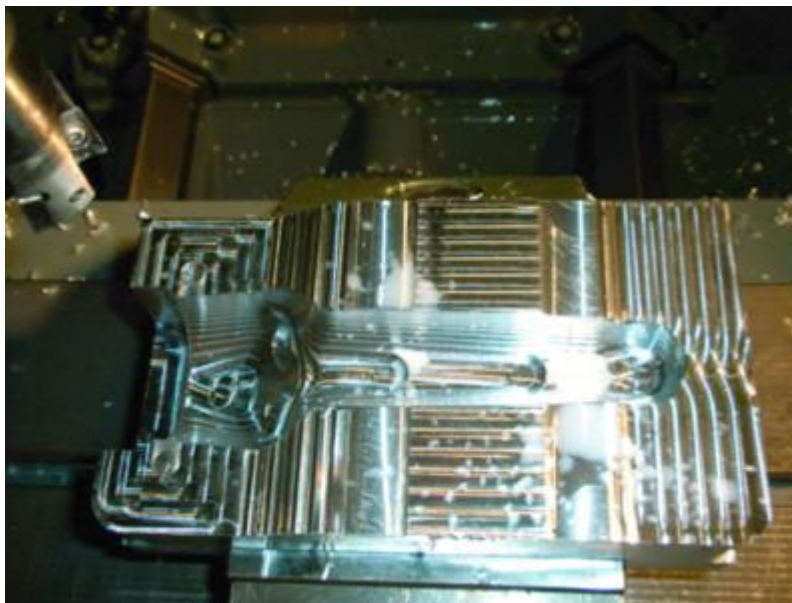
Existuje celá řada CAM systémů pro generování optimálních drah nástroje, mezi ty nejznámější CAM systémy se řadí EdgeCAM, Mastercam, Surfcam nebo PowerMILL. Obráběcí strategie jsou optimalizovány pro maximální efektivitu obrábění při využití nejmodernějších technologií vysokorychlostního obrábění, přičemž nástroj udržuje vysokou rychlost posuvu bez prudkých změn směru obrábění a tímto se docílí hladkých přejezdů mezi hladinami [7].

1.4.1 Hrubování

Cílem strategie hrubování je odebrání co největšího množství materiálu v co nejkratším čase a přiblížit se kontuře pro následné dokončování. Při správně zvolené strategii hrubování je možné se co nejvíce přiblížit požadované kontuře a v některých případech může dojít k odstranění předdokončovacích strategií, což značně omezuje vlastní dokončování [6].

Hrubování se nejčastěji provádí pomocí frézovacích hlav s VBD. Při použití čtvercových nebo kosočtvercových VBD se nedocílí správného přizpůsobení cílové kontury a také vznikají větší radiální síly, které negativně ovlivňují obrobený povrch. Pro dosažení co nejlepšího přiblížení ke kontuře se volí břitové destičky se zaobleným tvarem břitu, které jsou však obtížnější na procesní řízení. VBD s kruhovým tvarem se vyznačují plynulejším záběrem a jsou také s výhodou nasazovány při víceosém obrábění tvarových ploch [6].

Jednotlivé dráhy nástroje musí být voleny s ohledem na to, aby nedocházelo ke krátkým a prudkým stoupáním či klesáním. Předpokladem je kontinuální a sousledný záběr břitu frézy. Nejvhodnějším řešením je využití tzv. kapsování. U této strategie lze snadno docílit rovnoměrných záběrů, kdy je kontura zhotovena ve spirálových drahách [6].



Obr. 1.3 Ukázka vyhrubované části formy hrubovací strategií [8]

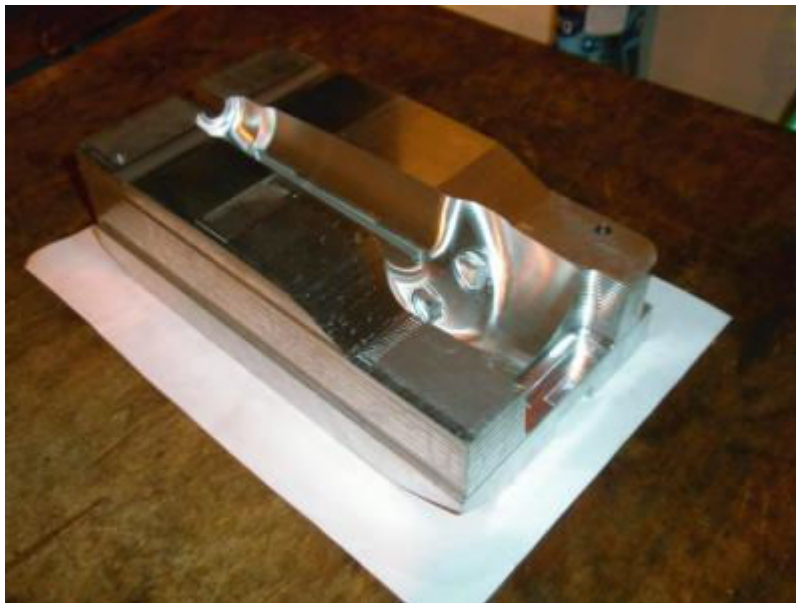
1.4.2 Dokončování

Pro dokončovací operace bylo vyvinuto nepřeberné množství frézovacích strategií přizpůsobených různým povrchům obráběné plochy. Vrstevnicovým způsobem nejprve dochází k obrábění přechodových ploch a ploch navazujících od nich směrem nahoru. Pro plochy obrobku, jejichž sklon je minimální či nulový, je vhodné použít spirálové frézování, kterým se docílí rovnoměrných záběrových podmínek. Dokončovacími operacím nesvědčí prudké změny směru pohybu nástroje, kterým je nutno předejít. Zvláštní pozornost je nutno věnovat obráběním problematických oblastí, jako například úzké a hluboké dutiny nebo vnitřní rohy, pro něž jsou navrženy speciální doplňkové dokončovací strategie. Při použití nástrojů velkých rozměrů lze docílit nižších strojních časů při současně dobré trvanlivosti nástroje [6].

Při obrábění šikmých ploch kulovými frézami je nutno se vyhnout obrábění středem nástroje s nulovou řeznou rychlostí. Pohyb nástroje při tomto způsobu obrábění je nutno programovat tak, aby největší část odebírané vrstvy byla odebírána částí nástroje, která je vůči ose nástroje na co největším průměru. V dnešní době lze těmto problémům předcházet využitím pětiosých obráběcích center, které umožní nástroj vyklonit ze své čtvrté, popřípadě páté osy a zabránit nulové řezné rychlosti ve středu nástroje. Jedná se o tzv.

vlečení nástroje. Z hlediska opotřebení břitu se doporučuje optimální naklonění nástroje o 10° až 20° do směru posuvu [6].

Pro odstranění zbytků materiálu po předchozích dokončovacích operacích se využívají různé cykly zbytkového a tužkového dokončování. Tužkové dokončování rozpozná všechny kouty a vede dráhu jejich středem, či nabízí možnost více záběrů na každou stranu. Využití těchto cyklů umožňuje použití většího nástroje k obrábění stěn, který má větší tuhost, a následně použít malý nástroj k odstranění zbytků materiálu z oblastí, které zůstaly větším nástrojem nedotčené [7].



Obr. 1.4 Ukázka části formy po dokončovací strategii [8]

1.4.3 Obrábění rohů

Obrábění rohů se většinou provádí lineárním pohybem nástroje, jehož průměr odpovídá požadovanému poloměru zaoblení daného rohu. Ve většině případů je to ale nevýhodné a přináší to mnohé komplikace. Při lineárním pohybu dojde ve zlomovém bodě na velmi krátkou dobu k zastavení pohybu kvůli změně směru posuvu, přičemž otáčky nástroje zůstanou neměnné. Tato kritická situace vyvolává nadprůměrné třecí teplo a dochází k náchylnosti ke vzniku vibrací. Může docházet k poškození nástroje a i obrobeného povrchu. Dochází ke zhoršení drsnosti, přesnosti a u materiálu citlivého na procesní teplo i k narušení vlastní integrity povrchu [6].

Poměrně snadné řešení spočívá v použití nástroje, jehož průměr je menší než poloměr zaoblení vyráběného rohu. Využitím kruhové interpolace lze zamezit vzniku zlomového bodu a zastavení nástroje se všemi jeho problémy. V některých málo používaných případech se jeví jako vhodné řešení použití odebírání materiálu v rohu axiálním frézováním [6].

1.4.4 Najíždění a vyjíždění nástroje z řezu

V prakticky všech případech je velice důležité dodržovat zásady pro vstup a výstup břitu nástroje z řezu. Rozlišujeme více způsobů najíždění a vyjíždění z řezu, které jsou popsány níže [6].

Obvodové najíždění do řezu

Při každém záběru břitu frézy s obrobkem je břit vystaven šokovému zatížení, které závisí zejména na obráběném materiálu, průřezu odebírané vrstvy a druhu frézování. První kontakt břitu nástroje a obrobku může ovlivnit celý následující proces řezání a dokonce může způsobit i poškození břitu. Jestli dojde k destrukci břitu či ne, závisí na tom, ve kterém místě na břitu dojde k prvnímu kontaktu s obrobkem. K prvnímu kontaktu nástroje s obrobkem by mělo dojít středem destičky (plochou čela), což je ovlivněno radiální hloubkou řezu [6].

Obvodové vyjíždění z řezu

Při obvodovém vyjíždění nástroje z řezu může dojít ke značnému namáhání břitové destičky. Velkou roli zde hraje tahové a ohybové namáhání, kdy při překročení pevnosti tohoto materiálu může dojít k poškození nebo až k destrukci destičky. Rozhodujícím činitelem je hodnota radiální hloubky řezu [6].

Čelní najíždění do řezu

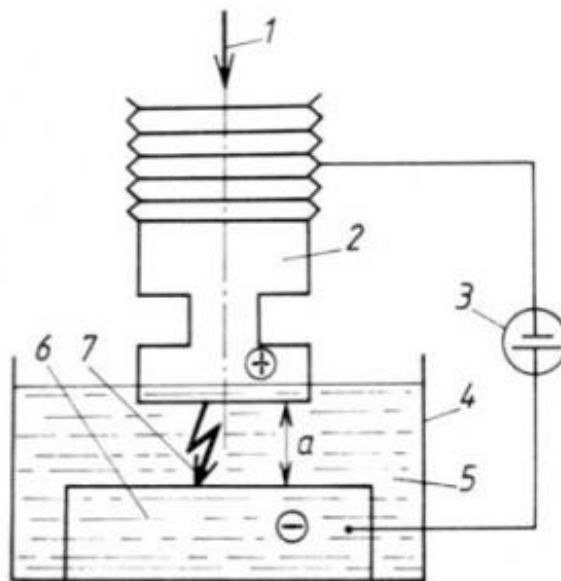
Předvrtávání počátečního otvoru je jednou z nejstarších a dosud používaných metod, kdy po předvrtání přichází na řadu monolitní fréza, či fréza z VBD, která při konstantní souřadnici Z provede předfrézování kontrury. Nástroj takto musí překonat velké množství odcházejících třísek a vzniklé teplo, které ovlivňuje obrobený povrch a trvanlivost nástroje.

Pokud se při zavrtávacím frézování na stanovenou souřadnici Z použije monolitních kulových nástrojů, je doporučeno méně časté vyjíždění nástroje z řezu s ohledem na odstraňování třísek. Jako vhodné se jeví najíždění šikmo s kruhovou interpolací rovnou na plnou hloubku spolu s bezpečným odvodem třísek na rozdíl od přímého axiálního zavrtávání [6].

Jednou z nejlepších metod se považuje lineární šikmé najíždění na plnou axiální hloubku tzv. najíždění po rampě. Při použití fréz s kruhovými VBD je možné využít spirálového pohybu najíždění v axiálním směru, což se jeví jako velmi vhodné [6].

1.5 Elektroerozivní obrábění forem

Principem elektroerozivního obrábění je úběr materiálu vlivem elektrických výbojů mezi anodou (nejčastěji ji tvoří nástrojová elektroda) a katodou (nejčastěji tvořená obrobkem) ponořenou do tekutého dielektrika, což je v podstatě kapalina, která má vysoký elektrický odpor. Vlivem vysoké koncentrace energie (10^5 až $10^7 \text{ W} \cdot \text{mm}^{-2}$) dochází k úběru materiálu, kdy materiál taje a odpařuje se. Dosahovaný úběr materiálu obrobku činí 8 až $10 \text{ mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Elektroerozivním obráběním lze obrábět jen elektricky vodivé materiály [9].



Obr. 1.5 Princip zařízení pro elektroerozivní obrábění 1 – směr posuvu elektrody, 2 – nástrojová elektroda, 3 – generátor, 4 – lázeň s dielektrikem, 5 – dielektrikum, 6 – obrobek, 7 – elektrický výboj [9]

Elektroerozivní obrábění se používá pro hloubení dutin záпустek a forem při vytváření tvarově náročných vnitřních i vnějších ploch, pro výrobu střížných nástrojů, nástrojů pro vstřikování plastů, pro opravu opotřeбенých dutin nebo při odstraňování zalomených nástrojů (vrtáků, závitníků, výstružníků apod.) [10].

Moderní stroje mají veškeré činnosti řízeny CNC řídicím systémem. Jedná se o řízení směru a rychlosti pohybů, polohy pracovního stolu, pracovní parametry generátoru, přívodu dielektrika, automatické výměny elektrod v zásobníku, rychlosti přísuvu elektrody a kontrolu probíhající eroze. Postup úběru materiálu lze simulovat na obrazovce a následně umožňuje řídicí systém snadné naprogramování stroje. Různé technologické aplikace vyžadují odlišné formy elektrických výbojů, které jsou na nástrojovou elektrodu a na obrobek přiváděny z generátoru ve formě pulsů, charakterizovány napětím, proudem a tvarem o určité frekvenci [9].

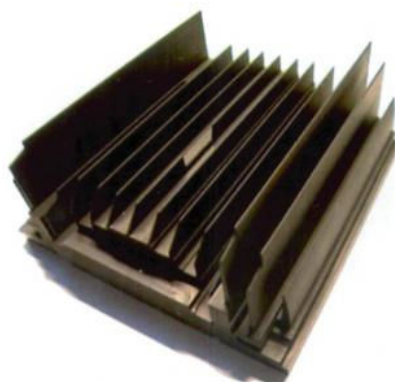
Dielektrikum je kapalina s vysokým elektrickým odporem. Nejčastěji se používá strojní olej, transformátorový olej, petrolej, destilovaná voda, deionizovaná voda a speciální dielektrika dodávaná výrobcí strojů [9].

Přívod dielektrika mezi obrobek a nástrojovou elektrodu je možné provést několika způsoby. Nejčastěji se využívá tzv. vnější vyplachování, používané při obrábění dutin o větší hloubce, kombinované s pulsním vyplachováním. Vnitřní tlakové vyplachování přivádí dielektrikum otvorem v nástrojové elektrodě přímo do pracovního prostoru. Nevýhodou je menší tvarová přesnost boků vyráběné dutiny. Vyplachování odsáváním se realizuje odsáváním dielektrika dutinou v nástrojové elektrodě nebo obrobku. Tento způsob vyplachování se vyznačuje velmi dobrou tvarovou přesností obráběné dutiny. Pulsní vyplachování je charakterizováno přerušením procesu elektroeroze na 0,15 až 10 s za současného oddálení nástrojové elektrody od obrobku o 0,02 až 10 mm, tím se dosáhne dokonalejšího vypláchnutí. Tento způsob vyplachování je vhodný při výrobě hlubokých dutin, při používání tenkých elektrod nebo při obrábění načisto [9].

Jako nástroje se u elektroerozivního obrábění využívá **nástrojové elektrody**, která určuje přesnost rozměrů, jakost obrobené plochy a výkon obrábění. Návrh nástrojové elektrody se provádí pro každý případ obrábění samostatně a činí až 50 % z celkových výrobních nákladů [9].

Pro výrobu nástrojových elektrod se využívá kovových i nekovových materiálů. Mezi kovové materiály patří elektrolytická měď, slitina wolframu a mědi, slitina wolframu a stříbra, ocel, mosaz. Pro výrobu tvarově náročných elektrod se využívá nejčastěji grafitu, či kompozitu grafitu a mědi. Materiál nástrojové elektrody se volí podle obráběného materiálu, použitého stroje a relativního objemového opotřebení nástrojové elektrody [9].

Výroba nástrojové elektrody se může provádět různým způsobem. Grafitové nástrojové elektrody se nejčastěji obrábějí na CNC obráběcích strojích. Mezi další způsoby výroby patří lisování, lití, prášková metalurgie, galvano-plastika [10].



Obr. 1.6 Nástrojová elektroda vyrobená z grafitu [9]

1.6 Obrábění forem miniaturními frézami

Jednou z možností jak obrábět tvarově náročné detaily dílů vstřikovacích forem je využití miniaturních fréz, které můžou částečně nahradit elektroerozivní obrábění.

Za miniaturní frézy se rozumí frézy o průměrech od 0,6 až 2,5 mm a poměrem štíhlosti $L/D = 10$ až 15. Jedna z firem zabývajících se miniaturními frézami je například firma Hitach Tool. V dnešní době jsou zejména využívány nástroje řady EPDB (koule) a EPDS (válec) a EPDR (zaoblení). Nástroje takového provedení jsou aplikovány hlavně pro výrobu žeber, koutů, drážek, vyostřování tvarů a tvarových detailů, které by se za normálních okolností řešily elektroerozivním obráběním [11].



Obr. 1.7 Miniaturní fréza EPDB od firmy Hitach Tool [12]



Obr. 1.8 Miniaturní fréza EPDS od firmy Hitach Tool [12]

Mezi výhody frézování miniaturními frézami patří fakt, že frézovaný povrch se následně lépe leští než povrch obrobený elektroerozivně, odpadá dvojí upínání obrobků a najíždění, což je u značně velkých obrobků velká úspora času. Za výhodu lze také uvést fakt, že pro největší obrobky forem některé firmy nedisponují tak velkými hloubičkami pro elektroerozivní obrábění. Další nespornou výhodou této technologie je snížení nákladů na elektroerozivní obrábění a zkrácení doby výroby. Náklady při elektroerozivním obrábění vycházejí z ceny grafitu, přípravy modelu elektrody, tvorby programu na obrábění elektrod, frézování elektrod a samotné elektroeroze, která při obrábění těmito frézami odpadá [11].

Obrábění miniaturními frézami má i své nevýhody. Mezi jednu z nejpodstatnějších je vysoká pořizovací cena nástrojů a jeho nízká životnost. Dále musí být dodrženy vysoké požadavky na otáčky včetně obráběcích strojů, které musí být větší než 20000 min⁻¹. V některých případech je obrábění omezeno rozměrem a hloubkou tvarového detailu [11].

V průběhu obrábění otevřených prostorů se využívá mlhového chlazení, při obrábění hlubokých a uzavřených žeber se využívá vyfukování vzduchem, jelikož mlhové chlazení zanechává v drážce nežádoucí směs jemých třísek a oleje [11].

U nástrojů při obrábění ocelí 1.2311, 1.2738 a 1.2738 se docílí životnosti frézy mezi 2 až 4 hodinami. Hodnoty posuvů se pohybují v rozmezí od 700 do 1500 mm·min⁻¹ [11].

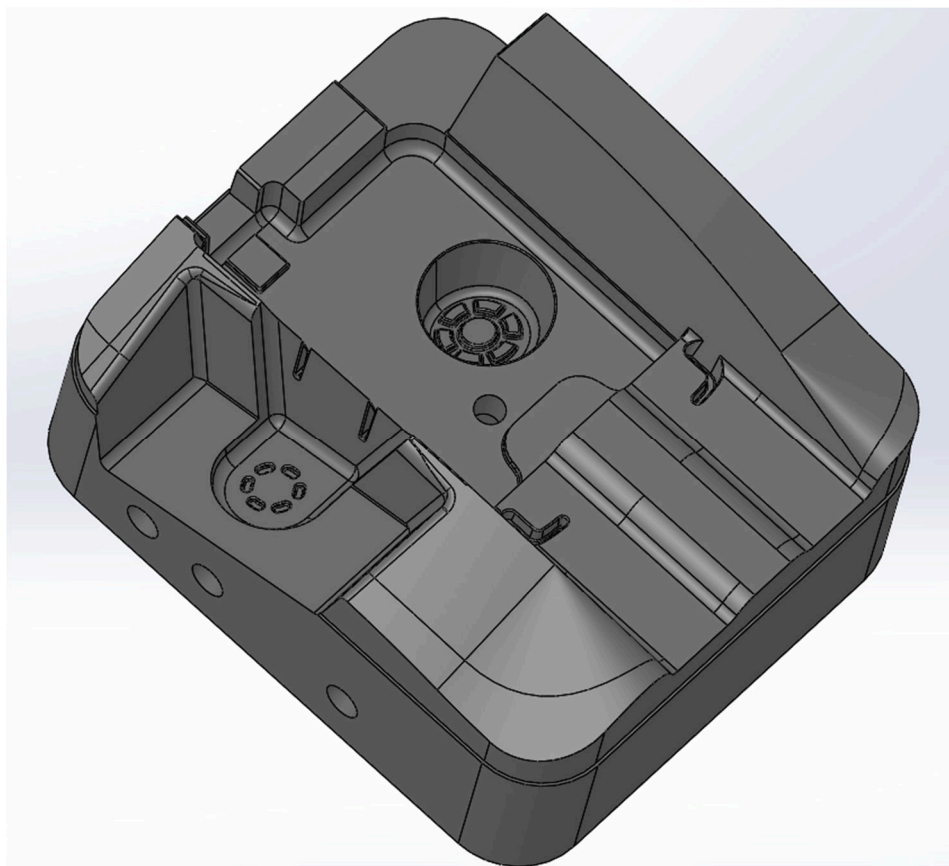
2 Rozbor stávající technologie výroby

Firma S-KUNSTSTOFFTECHNIK s.r.o. sídlící v Kravařích, u které byla zřízena tato diplomová práce, patří mezi společnosti zabývající se zpracováním plastů, zejména však výrobou plastových dílů pro automobilový průmysl.

Divize výroby nástrojů a kovoobrábění se zabývá výrobou forem pro následné vstřikování plastů. Kromě jiného firma zajišťuje kovoobrábění rozmanitých dílců z oceli, barevných kovů, nerezové oceli a plastů dle specifických přání zákazníka.

2.1 Popis vybraného dílu

Pro potřeby této diplomové práce, jako typového představitele pro racionalizaci, byla firmou vybrána součást tvárnice. Jedná se o jeden z několika dílů formy určené pro vstřikování plastů pro automobilový průmysl. Díl obsahuje mnoho tvarových ploch, které budou v průběhu vstřikování v přímém kontaktu s roztaveným plastem. Tyto tvarové plochy musí být obrobena s vysokou přesností, neboť na těchto plochách bude záviset výsledný povrch výlisku. Na bočních stranách a zespodu tvárnice se nachází průchozí otvory, které tvoří vnitřní chladicí okruh. Uprostřed tvárnice se nachází otvor pro trysku, kterou prochází tavenina ze vstřikovací jednotky do dutiny formy.



Obr. 2.1 Model součásti tvárnice – přední pohled

2.2 Materiál součásti

Tento díl formy se vyrábí z materiálu 1.2311 (40CrMnMo7). Jedná se o zušlechtěnou nástrojovou ocel legovanou chromem, manganem a molybdenem s nízkým obsahem síry. Vysoký stupeň homogenity nabízí výborné mechanické vlastnosti jako houževnatost, rozměrovou stálost, dobrou leštitelnost a zároveň dobrou obrobiteľnosť. Materiál má dobrou prokalitelnost a pevnost za tepla, je vhodný pro cementování, nitridování i indukční kalení.

Ocel 1.2311 (40CrMnMo7) je vhodná na formy a rámy forem pro zpracování plastů a rámy forem pro tlakové lití kovů, nástroje pro tváření za tepla, jako mezivložky a tepelně namáhané pomocné nástroje [13, 14].

Mechanické vlastnosti materiálu

Pevnost v dodávaném stavu	900 – 1100 MPa	
Tvrдость v dodávaném stavu	290 – 320 HB	
Tvrдость ve stavu žíhaném na měkko	max. 230 HB	
Dosažitelná tvrдость po kalení	51 HRC	[13]

Tab. 2.1 Chemické složení materiálu 1.2311 v % [14]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0,35 - 0,45	0,20 - 0,40	1,30 - 1,60	<0,035	<0,035	1,80 - 2,10	0,15 - 0,25

Tab. 2.2 Označení materiálu v různých zemích [14]

Česká rep. ČSN EN 10027-2	Česká rep. ČSN	Německo DIN	Čína GB	AISI
1.2311	19 520	40CrMnMo7	5CrMnMo	P20

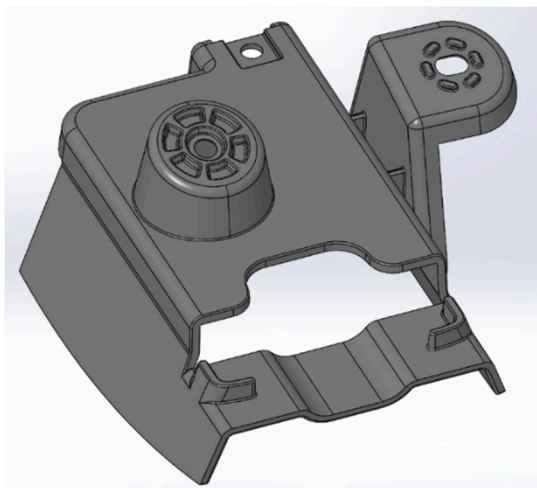


Obr. 2.2 Polotovár pro výrobu tvárnice

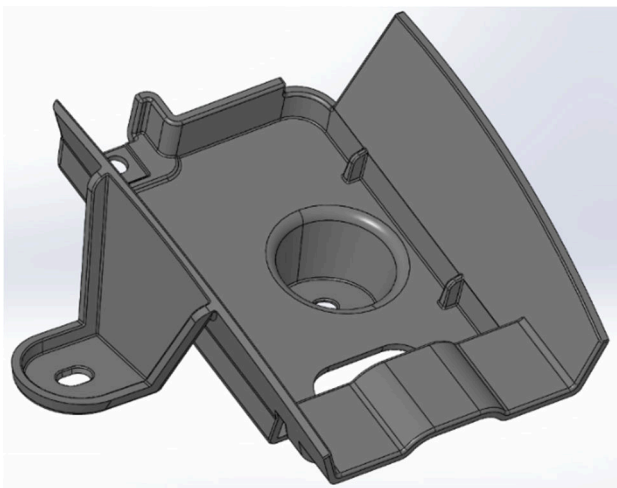
2.3 Díl výlisku

S plastovými díly používaných v automobilovém průmyslu se v posledních letech setkáváme v podstatě neustále. V tomto případě se jedná o plastový díl s pracovním názvem Halter Radar, sloužící jako držák elektroniky radarových senzorů umístěných ve spodní části zadního nárazníku automobilu. Radarové senzory jsou nadstandardní výbavou vozů Nová Škoda Superb a slouží k odhalení vozidel v mrtvém úhlu přibližujících se k zadní části automobilu. Výlisek je vyroben z materiálu PA6 GF20 se smrštěním 0,3 %.

Z modelu výlisku je patrné, že se skládá z několika tvarových částí. Model obsahuje pár žeber a tvarové dutinky, jejichž výroba se dá provést pomocí nekonvenčních metod obrábění, které jsou však časově náročné. Alternativou pro výrobu může být frézování s použitím miniaturních fréz, které spolehlivě vytvoří jednotlivé dutiny s požadovanou přesností.



Obr. 2.3 Model výlisku – pohled 1



Obr. 2.4 Model výlisku – pohled 2

PA6 GF20 – vlastnosti materiálu

Jedná se o polyamid, vyztužený 20 % skleněnými vlákny, vhodný pro vstřikování. Materiál nabízí vysokou mechanickou pevnost, rozměrovou stálost a malý rozsah smrštění. Materiál má chemickou odolnost vůči uhlovodíkům, minerálním olejům, koncentrátům, slabým alkaliím a kyselinám.

Uplatnění materiálu spočívá ve vstřikování různých dílů pro automobilový průmysl, strojírenství, elektrotechniku, nábytkářský průmysl, domácí a jiné předměty [15].

Teplota tavení	230 – 260 °C (limit vstřikovací teploty 290 °C)
Vstřikovací tlak	80 – 130 MPa (doporučeno 90 MPa)
Teplota formy	60 – 90 °C (vyšší teplota vede k většímu smrštění výlisku) [15]

2.4 Popis formy pro vstřikování plastů

Forma pro vstřikování plastů je poměrně komplikované zařízení skládající se z mnoha dílů a součástí. Použitím těchto nástrojů na speciálním vstřikovacím stroji, kdy dojde ke vstříknutí roztavené plastické hmoty za vysoké teploty do tvarové dutiny, vznikne konečný výrobek z plastické hmoty s požadovaným tvarem a funkčními vlastnostmi.

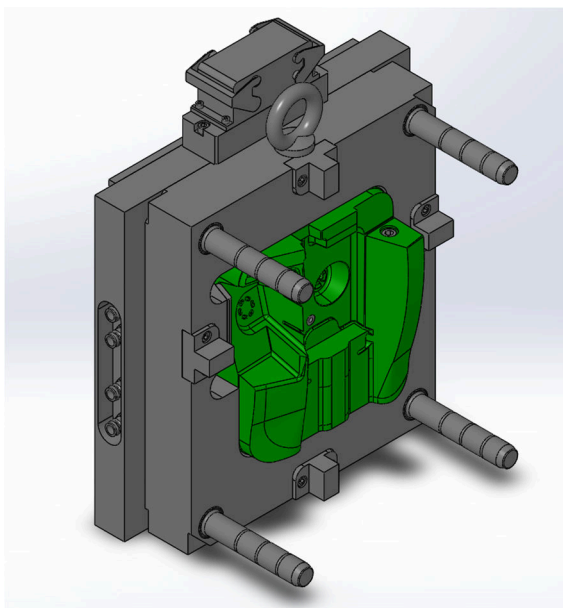
V dnešní době se většina forem sestavuje ze standardizovaných komponentů, které jsou na současném trhu dostupné. Tvarové části formy, jako jsou tvárník a tvárnice, se musí obrobit do požadovaného tvaru, který odpovídá negativu hotového výrobku. Standardizované části formy je také nutno přizpůsobit specifickým požadavkům pro danou formu, zejména se jedná o úpravu rámmů a desek formy.

Mezi nejznámější dodavatele standardizovaných dílů pro výrobu nástrojů a forem jsou například firmy Meusburger Georg GmbH & Co KG, HASCO AUSTRIA GmbH nebo PENTA TRADING, spol. s r.o.

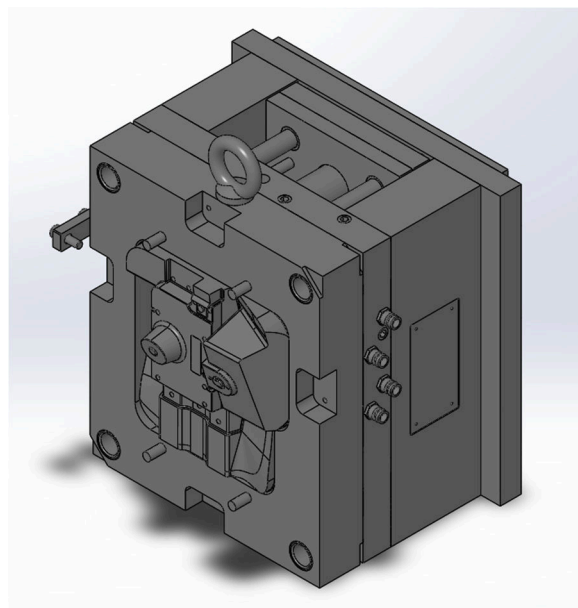
Formy pro vstřikování plastů se skládají z těchto částí [16]:

- **Tvářecí součásti** dávají výslednému vstřiku jeho výsledný tvar (tvárník, tvárnice, tvarové vložky a stírací pouzdra).
- **Rám formy** tvoří nosnou konstrukci tvářecích dílů a ovládacích mechanismů formy. Zahrnuje především deskovité součásti, vodící a spojovací prvky.
- **Vtokový systém** rozvádí taveninu od trysky vstřikovacího stroje až do tvářecí dutiny formy. Jedná se o konstrukce různých vtokových vložek, rozváděcích bloků a desek, vodivých trysek a topných elementů.
- **Vyhazovací systém** slouží k přímému vyhození vstřiku a vtokového zbytku z formy. Rozeznáváme válcové, trubkové a ploché vyhazovače, vyhazovací desky, nárazníky a omezovače zdvihu.
- **Ovládací mechanismy** mohou být řetězové, hydraulické či pneumatické tahače, mechanické pohony a zpožďovací mechanismy [16].

Podle provedení dělicí roviny se forma skládá z pevné (tryskové) části, která je při vstřikování upnuta na nepohyblivé části vstřikovacího stroje, a z pohyblivé části formy upnuté na pohyblivou část vstřikovacího stroje. Pohyblivá část je opatřena vyhazovacím systémem, který slouží pro vyhození zhotoveného výlisku z formy.

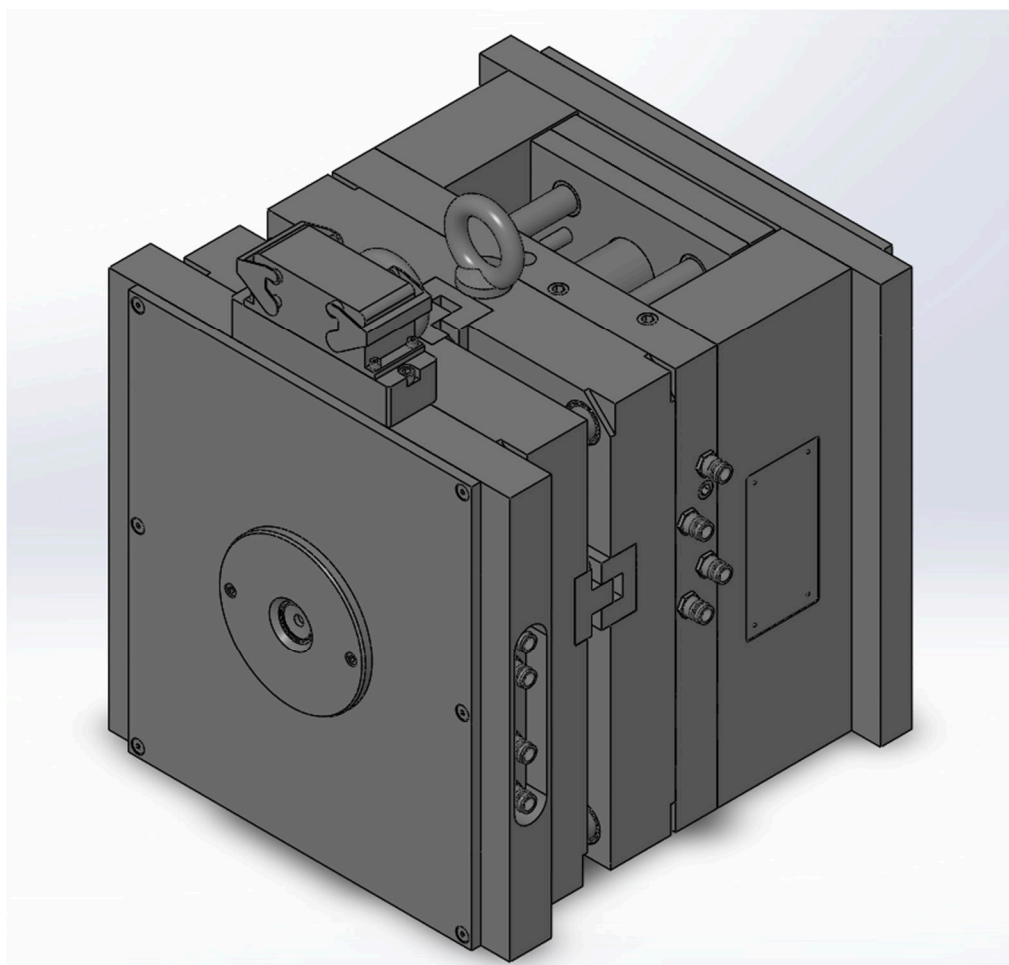


Obr. 2.5 Pevná (trysková) část formy



Obr. 2.6 Pohyblivá část formy

Životnost vstřikovací formy je závislá hlavně na volbě materiálu funkčních částí formy jako jsou tvárník a tvárnice, které jsou v přímém kontaktu s roztaveným plastem. Životnost vstřikovací formy je garantována přibližně na milion zdvihů při procesu vstřikování.



Obr. 2.7 Kompletní sestava formy pro vstřikování plastů

2.5 Obecný postup při výrobě tvarových dílů formy

Při výrobě tvarových částí formy se ve většině případů opakuje téměř identický postup výroby jednotlivých dílů. Výrobu můžeme rozdělit do následujících sedmi částí:

1. **Příprava polotovaru** je prvním krokem při výrobě. Polotovar obvykle firma zakoupí s požadovaným přídavkem od specializovaných firem dodávajících polotovary na zakázku.
2. **Úhlování** je následujícím krokem. Polotovar se frézuje na maximální rozměr součásti s požadovaným přídavkem, sloužící pro následné tepelné zpracování. V případě, že se tepelné zpracování u daného dílu nebude provádět, nechává se přídavek pro následné přesné broušení. Při úhlování polotovaru se obvykle využívá konvenčních nebo CNC frézek.
3. **Zhotovení děr pro chlazení** (temperační okruh), které jsou tvořeny soustavou kanálků uvnitř dílu sloužící pro udržování teploty formy při vstřikování, výroba závitů a technologických otvorů je dalším krokem při výrobě za použití konvenčních strojů, zejména vrtačky.
4. **Hrubování a předdokončování** základního tvaru na CNC frézce je stěžejní částí postupu výroby. Při obrábění dochází k úběru velkého množství materiálu, proto je nutno použít kvalitních hrubovacích fréz, aby došlo k co nejefektivnějšímu odebrání materiálu. U následných předdokončovacích operací se nechává přídavek z důvodu možné změny tvaru a deformace po tepelném zpracování.
5. **Tepelné zpracování** se provádí pokud je požadována vyšší tvrdost dílu.
6. **Broušení** obvodových ploch na přesný rozměr obvykle nastává po tepelném zpracování součásti za použití konvenčních strojů – brusek na plocho. Cílem broušení je dosažení přesných rozměrů z důvodu dalšího ustavování u následných operací.
7. **Dokončování** je prováděno přesným frézováním na CNC frézkách spolu s tvrdokovovými frézami, kdy dochází k dokončování tvaru součásti po tepelném zpracování. Obvykle dochází ke kombinaci přesného frézování s EDM obráběním u tvarově komplikovaných ploch. V konečné fázi se výroba zabývá ručním dokončováním obrobeného tvaru povrchu. Funkční plochy jsou dodatečně leštěny dle specifických požadavků zákazníka.

2.6 Použité stroje při výrobě součástí

Výroba tohoto dílu probíhala celkem na čtyřech strojích, ručním pracovišti a stroji pro přípravu grafitových elektrod pro elektroerozivní obrábění. Pro zhotovení děr při výrobě tvárnice byla použita vrtačka VR4. Broušení probíhalo na brusce s označením BPH 20NA. Frézovací operace byly prováděny na obráběcím centru MCV 750 Sprint. Tvarově náročné dutiny tvárnice se obráběly na elektroerozivní hloubičce Agietron Sprint 3 spolu s přípravou grafitových elektrod pro elektroerozivní obrábění na CNC frézce HWT D-442 CNC.

Sloupová vrtačka VR4

Tato vrtačka byla použita pro zhotovení otvorů po obvodu a zespodu tvárnice, které tvoří její chladicí okruh. Dále byla použita k odvrtání děr pro závity, sloužící k následnému uchycení tvárnice do rámu formy. I přesto, že se jedná o stroj z roku 1968, jenž prošel generální opravou v roce 1988, stále nese ve firmě uplatnění pro výrobu méně náročných otvorů, od kterých se nevyžaduje vysoká výrobní přesnost.

Stroj se skládá ze tří základních částí: základové desky, sloupu a otočného ramene, které je uchyceno na stojanu a umožňuje otáčení okolo sloupu v rozsahu 0 – 360°. Rameno umožňuje svislé přestavení v délce 710 mm a vodorovné přestavení vřeteníku po ramenu v rozsahu 945 mm. Do vřeteníku o průměru 35 mm se upínají nástroje pomocí kužele Morse 4. Vřeteníku obsahuje 12 stupňů převodů ve dvou řadách s rozsahem otáček 63 – 2800 min⁻¹. Posuv vřeteníku na otáčku se pohybuje v rozsahu 0,25 – 1,58 mm. Pracovní plocha umožňuje upínání rozměrných obrobků přímo na upínací plochu základny vrtačky o rozměru 1475 x 900 mm, která se může sklopit podle požadovaného úhlu. Upínání jednotlivých dílů je prováděno pomocí upínek s využitím T-drážek nebo svěráku.



Obr. 2.8 Sloupová vrtačka VR4 [17]

Bruska BPH 20NA

Bruska byla použita ve výrobním procesu následně po operaci úhlování, kdy došlo k obrobení všech stěn tvárnice do pravého úhlu s co nejmenší odchylkou. Obvodové stěny tvárnice byly broušeny na přesný rozměr 210h6 x 180h6, aby se při dalším upínání v následujících operacích dosahovalo co nejpřesnějšího ustavení obrobku.

Bruska BPH 20NA, vyrobená firmou TOS v roce 1967, která prošla generální opravou v roce 1980, je určena především k broušení rovinných ploch a stále nese uplatnění v některých nástrojárnách. Bruska umožňuje upnutí obrobků až do maximálního rozměru 200 x 630 mm a hmotnosti 180 kg. Součástí brusky je také magnetická upínací deska, která umožňuje spolehlivé a rychlé upínání obrobků s feromagnetickými vlastnostmi. Pro upnutí větších obrobků přímo na pracovní stůl lze využít upínek spolu s T-drážkami.

Při broušení se využívá nástroje brusného kotouče, který u tohoto typu stroje umožňuje upnutí brusného kotouče o průměru 132 až 250 mm. Maximální velikost odebírané třísky se pohybuje od 0,01 až 0,05 mm při maximálních otáčkách vřetene kolem 2500 min^{-1} . Konstrukce stroje se skládá z příčných saní, uložených v prismatickém vedení na loži, sloužících pro podélný a příčný posuv stolu. Pro ovládání pohybu stolu a příčných saní je použito hydraulických rozvodů. Motor stroje pohání pomocí klínových řemenů vřeteno stroje, které je uloženo ve dvou kuličkových ložiskách [18].



Obr. 2.9 Bruska BPH 20NA [19]

CNC obráběcí centrum – MAS MCV 750 SPRINT

Jedná se o počítačem číslicově řízený stroj, který byl ve firmě pořízen v roce 2004. Tohoto stroje se využívá pro obrábění tvarových ploch forem i ostatních dílů, kde je potřeba 3-osé řízení nástroje.

Vysoké tuhosti a stability obráběcího centra je dosahováno zejména uspořádáním a tvarem nosného rámu ve tvaru C. U tohoto stroje je garantována požadovaná přesnost a dynamika při obrábění zejména díky lineárnímu vedení ve všech lineárních osách.

Samotný stroj disponuje upínací plochou stolu o rozměrech 1000 x 640 mm a maximální hmotností zatížení stolu 650 kg. Rozsah pracovních os X, Y, Z je 750 x 500 x 500 mm. Potřebné otáčky pro obrábění obstarává vřeteno značky Franz Kessler, s maximálními otáčkami 18000 min⁻¹. Nástroje se upínají do vřetena s využitím kuželových držáků HSK-A63. Stroj disponuje automatickou výměnou až 24 nástrojů pomocí mechanické ruky, což umožňuje rychlou výměnu nástroje při obrábění. Maximální průměr nástroje v zásobníku je 77 mm a maximální použitá délka nástroje je 225 mm. Stroj se obsluhuje přes ovládací panel s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530, který disponuje řadou dialogových funkcí [20, 21].

Doplňkovou výbavou stroje je dotyková nástrojová sonda pro měření nově upnutých nástrojů, obrobková sonda pro ustavování nebo měření obrobků na obráběcích centrech a dopravník třísek pro bezpečné odstranění třísek z prostoru stroje.



Obr. 2.10 CNC obráběcí centrum – MAS MCV 750 SPRINT [21]

Elektroerozivní hloubička – AGIE – Agietron Spirit 3

Elektroerozivní hloubička byla použita v konečné fázi výrobního procesu při výrobě tvarově náročných dutin tvárnice, které se běžnou technologií frézování obtížně dosahují.

Stroj, který firma vlastní od roku 2006 umožňuje upínat obrobky o největším rozměru 760 x 450 x 225 mm a hmotnosti 1000 kg. Rozsah pojezdů jednotlivých os X, Y, Z je 550 x 450 x 225 mm. Největší váha jednotlivé elektrody se zabudovanou osou C může být až 50 kg. Do zásobníků elektrod je možno upnout celkem až 10 elektrod o největším průměru elektrody 80 mm. Maximální rozměr jedné elektrody může být 80 x 140 x 315 mm, pokud se některá místa v zásobníku neobsadí, může být rozměr i větší. Nejvyšší váha jedné elektrody v zásobníku je 20 kg, přičemž celková váha elektrod v zásobníku nesmí překročit 80 kg na levém zásobníku a 120 kg v zásobníku zadním. Elektrody se upínají do držáků od společnosti Erowa.

Pohon stroje obstarávají servomotory DC, s rozlišením až 0,001 mm. Jednotlivé osy se mohou pohybovat rychloposuvem o rychlosti až $1,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Zabudovaná osa C je taktéž poháněna servomotorem DC s rozlišením $0,001^\circ$ a maximálním pracovním proudem při pohybu 72 A.

Pro manuální ovládání jednotlivých os X, Y, Z je k dispozici JOGBOX ovladač s LCD displejem pro přípravu a seřízení stroje. Stroj je ovládán skrze integrovanou řídicí jednotku CNC SPIRIT, která běží na operačním systému Windows [22].



Obr. 2.11 Elektroerozivní hloubička – AGIE – Agietron Spirit 3 [21]

CNC frézka HWT D-442 CNC

Jedná se o portálovou frézku řízenou počítačem, která patří mezi novější vybavení firmy a byla pořízena v roce 2007. Tato frézka je ve firmě využívána zejména pro obrábění grafitových elektrod menších rozměrů, které se následně používají při elektroerozivním obrábění.

Pojezdy stroje jsou poháněny krokovými motory s kuličkovými šrouby. Pracovní prostor stroje, o rozměrech 400 x 400 x 200 mm a maximální hmotnosti obrobku 20 kg, zcela postačuje pro tento typ výroby. Velikost upínací plochy X, Y, 500 x 500 umožňuje upínání pomocí 8 mm T-drážek. Programovatelná rychlost posuvu je uváděna 3 – 5 m·min⁻¹.

Upínání nástrojů je realizováno pomocí kleštin ER-16 s upínacím průměrem 1 až 10 mm. Vřeteno stroje disponuje otáčkami 5000 až 25000 min⁻¹.

Stroj je vybaven odsávacími hubicemi a úplným zakrytváním, což je při obrábění grafitu z hlediska bezpečnosti práce zcela nezbytné [23].



Obr. 2.12 CNC frézka HWT D-442 CNC [21]

2.7 Technologický postup stávající výroby

Z archivních záznamů firmy S-KUNSTSTOFFTECHNIK s.r.o. je v následující tabulce uveden zjednodušený technologický postup výroby zadané součásti tvárnice, který byl použit při stávající výrobě. Časy jednotlivých operací byly stanoveny odborným odhadem z výrobních podkladů pro daný díl.

Pro výrobu tvárnice byl použit dodaný polotovár z materiálu 1.2311 (40CrMnMo7) o rozměru 220x190x115 mm.

Tab. 2.3 Technologický postup výroby tvárnice

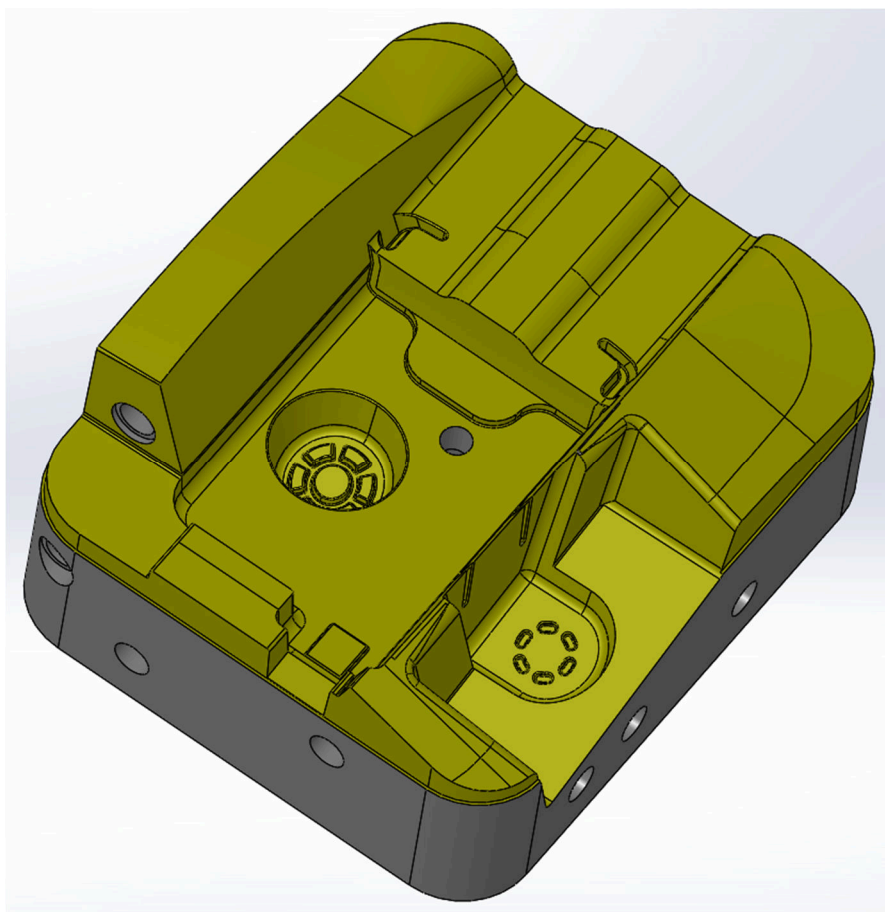
Č. operace	Název operace	Pracoviště	Popis práce	Čas [h]
1	Úhlování	MCV 750 Sprint	Úhlování na rozměr 210x180x105 s přídavkem 0,2	1,5
2	Broušení	BPH 20NA	Broušení na rozměr 210h6x180h6x104,59 +0,2	1,5
3	Vrtání	VR4	Vrtání na obvodu 9x Ø10 Zahloubení 4x Ø16 Závity 9x M14x1,5 Vrtání ze spodu 7x Ø10 Závity 3x M14x1,5 Závity 4x M10	6
4	Frézování (zadní strana)	MCV 750 Sprint	Upnout do svěráku a vycentrovat. Frézování díry pro trysku Ø10H7 Frézování díry pro trysku Ø27	1
5	Frézování (přední strana)	MCV 750 Sprint	Upnout do svěráku a vycentrovat. Frézování tvarových ploch dle CNC programu	16,5
6	Elektroerozivní hloubení	Agietron Sprint 3	Hloubení tvarových ploch dle seznamu elektrod	28
7	Ruční dokončování		Doleštění tvarových ploch	8
8	Kontrola		Kontrola tolerovaných rozměrů	1

Diplomová práce se následně bude zabývat zefektivněním frézování tvarových ploch tvárnice zvolením vhodných obráběcích nástrojů spolu s řeznými parametry a snížením počtu obráběných ploch elektroerozivním hloubením. V uvedeném technologickém postupu se jedná o operci č. 5 a 6.

2.8 Použité nástroje při stávající výrobě

Při stávající výrobě byly použity řezné nástroje dvou různých firem. Pro hrubování tvarových ploch byl použit nástroj firmy Pramet Tools, s.r.o. a pro dokončovací operace byly použity monolitní nástroje čínské společnosti DHF Precision Tool Co., Ltd.

Na následujícím modelu tvárnice jsou znázorněny plochy k obrábění, pro které byly použity níže uvedené nástroje.



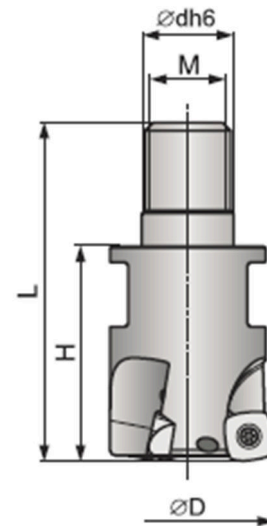
Obr. 2.13 Znázornění ploch pro frézování

2.8.1 Kopírovací fréza

Pro hrubovací operaci tvarových ploch byla použita tří břitá kopírovací fréza Ø25 mm pro frézování vysokými posuvy. Jedná se o frézu z řady produktů s označením SZD od firmy Pramet Tools, s.r.o.



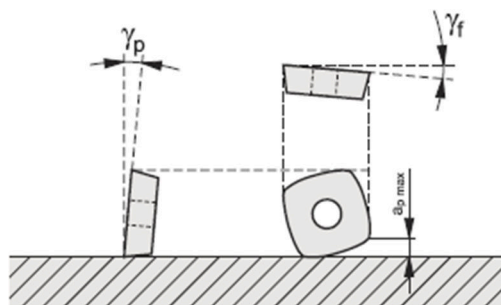
Obr. 2.14 Kopírovací fréza SZD [24]



Obr. 2.15 Rozměry kopírovací frézy SZD [24]

Tab. 2.4 Rozměry kopírovací frézy SZD [24]

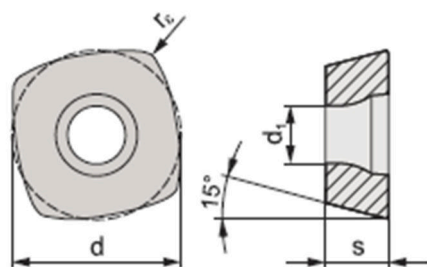
Označení	D [mm]	H [mm]	L [mm]	dh6 [mm]	M	Z
25E3R032M12-SZD07	25	32	54	12,5	M12	3



Obr. 2.16 Geometrie nástroje při použití destičky ZDCW 070304 [24]

Tab. 2.5 Geometrie nástroje při použití destičky ZDCW 070304 [24]

Označení	γ_p	γ_f	$a_p \text{ max}$
ZDCW 070304	+8°; +6°	-5°; -6°	1,0; 1,6 mm



Obr. 2.17 VBD ZDCW [24]

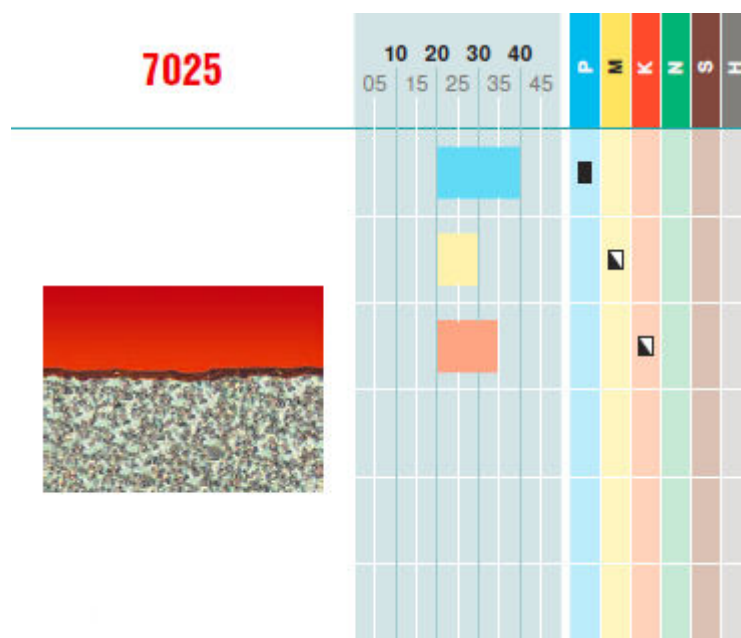


Obr. 2.18 Rozměry VBD ZDCW [24]

Tab. 2.6 Rozměry vyměnitelné břitové destičky ZDCW 070304 [24]

Označení	l [mm]	d [mm]	s [mm]	d ₁ [mm]	r _ε [mm]
ZDCW 070304	6,800	6,800	3,18	2,60	0,4

Pro danou frézu byly použity doporučené vyměnitelné břitové destičky s označením ZDCW 070304 z materiálu 7025 dle označení Pramet Tools, s.r.o. Materiál 7025 je tvořen substrátem s vysokým podílem kubických karbidů. Destičky jsou opatřeny vícevrstevným nanopovlakem s vysokým obsahem Al nanesený metodou PVD. Materiál je zvláště vhodný pro obrábění materiálu skupin P a za určitých podmínek i skupiny M a K. Odolává středním a vyšším posuvům i vysokým řezným rychlostem.



Obr. 2.19 Použití řezného materiálu 7025 [24]

2.8.2 Kulové frézy

Pro předdokončovací a dokončovací operace se při obrábění používalo čtyř monolitních kulových fréz BTA o rozměrech R6, R3, R1,5 a R0,5 mm. Tyto tvrdokovové frézy od firmy DHF Precision Tool Co., Ltd. jsou opatřeny povlakem z TiAlN, které jsou díky povlaku odolné proti otěru a umožňují obrábět materiály do tvrdosti 55 HRC.



Obr. 2.20 Kulová fréza BTA [25]



Obr. 2.21 Rozměry kulové frézy BTA [25]

Tab. 2.7 Rozměry kulových fréz BTA [25]

Označení	D ₁ [mm]	L ₁ [mm]	L ₃ [mm]	D ₂ [mm]
BTA 1202	R6	24	75	12
BTA 0604	R3	12	50	6
BTA 0304	R1,5	6	50	4
BTA 0104	R0,5	2	50	4

2.8.3 Stopková fréza

Pro frézování rovinných ploch a odlehčení na tvárnici byla použita dokončovací monolitní stopková fréza Ø12 mm s označením ETA, taktéž od firmy DHF Precision Tool Co., Ltd.

Fréza je opatřena čtyřmi břity a povlakem z TiAlN, stejně jako předchozí kulové frézy, pro lepší odolnost proti otěru. Umožňuje taktéž obrábět tvrdé materiály do 55 HRC.



Obr. 2.22 Stopková fréza ETA [25]



Obr. 2.23 Rozměry stopkové frézy ETA [25]

Tab. 2.8 Rozměry stopkové frézy ETA [25]

Označení	D ₁ [mm]	L ₁ [mm]	L ₃ [mm]	D ₂ [mm]
ETA 1204	12,0	30	75	12

2.8.4 Řezné parametry

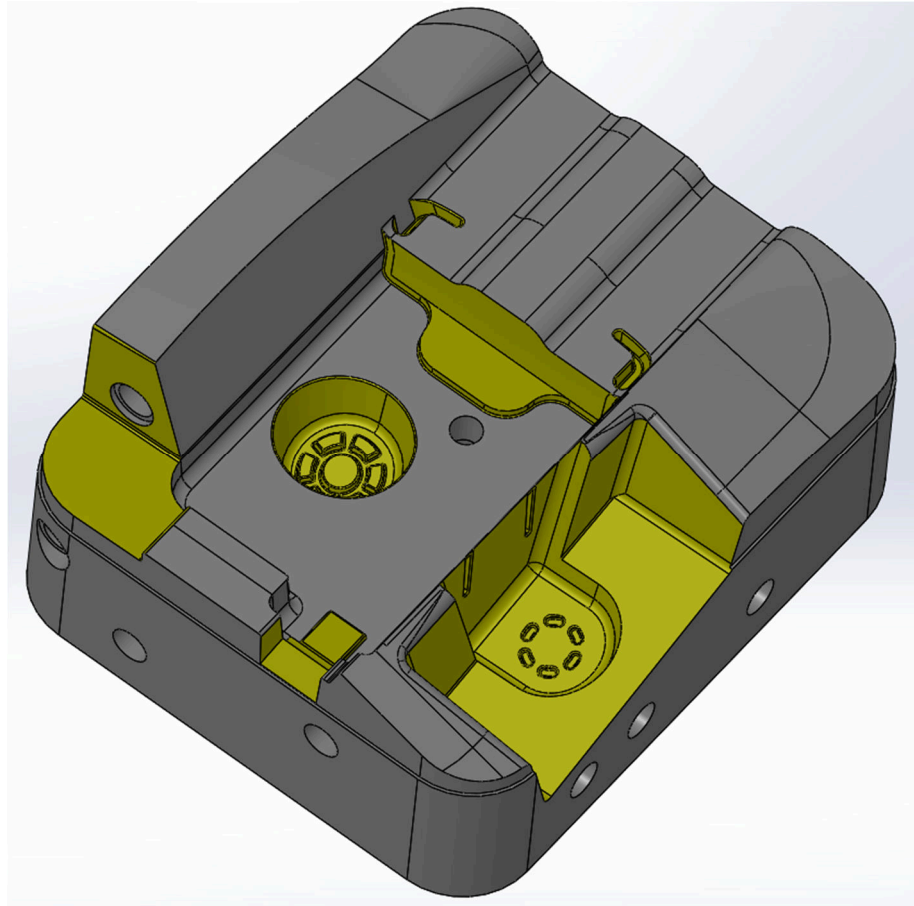
V následující tabulce jsou uvedeny řezné parametry pro jednotlivé druhy operací, které byly použity při výrobě tvárnice. Řezné parametry byly získány z výrobní dokumentace a z podkladů firmy S-KUNSTSTOFFTECHNIK s.r.o.

Tab. 2.9 Řezné parametry při stávající výrobě tvárnice

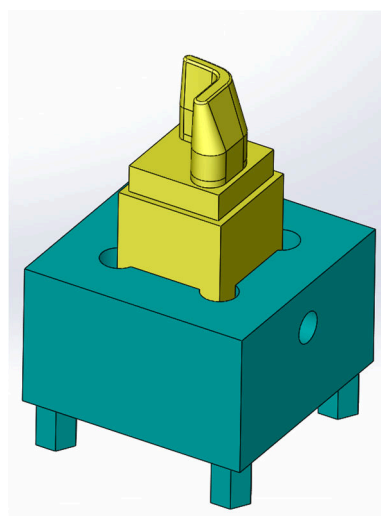
Nástroj (Označení)	Operace	v_c [m·min ⁻¹]	f_z [mm]	a_p [mm]
25E4R032M12-SZD07	Hrubování	250	0,8	0,4
BTA 1202	Předdokončování	130	0,06	0,3
BTA 0604	Předdokončování	150	0,02	0,2
BTA 0604	Předdokončování koutů	150	0,02	0,2
BTA 1202	Dokončování	250	0,07	0,2
BTA 0604	Dokončování	150	0,025	0,014
BTA 0304	Dokončování	84	0,016	0,07
BTA 0104	Dokončování koutů	85	0,017	0,05
ETA 1204	Dokončování	120	0,07	0,035
ETA 1204	Odlehčení	85	0,05	4

2.8.5 Elektrody pro elektroerozivní obrábění

V konečné fázi výroby tvárnice pro zhotovení složitých tvarů byla použita celá řada nástrojových elektrod vyrobených z grafitu. Tyto nástrojové elektrody se následně aplikovaly při elektroerozivním obrábění. Pro zhotovení tvarů znázorněných na následujícím modelu tvárnice bylo použito celkem 15 různých nástrojových elektrod.



Obr. 2.24 Znázornění ploch pro elektroerozivní obrábění



Obr. 2.25 Model nástrojové elektrody

3 Návrh inovativního řešení technologie výroby

Inovativní řešení technologie výroby spočívá ve zvolení výkonnějšího a přesnějšího obráběcího stroje, umožňujícího nasazení vysokých otáček vřetene nezbytných pro obrábění s nástroji malého průměru, oproti stávajícímu stroji MCV 750 Sprint a ve volbě produktivních nástrojů, umožňujících nasazení větší rezné rychlosti, posuvu a hloubky řezu.

Zásadní změnou v technologii výroby je nasazení miniaturních fréz pro dokončování malých dutinek a ploch s malým zaoblením rohů, což se doposud řešilo elektroerozivním obráběním s velkým množstvím elektrod. Použitím miniaturních fréz dojde ke snížení počtu elektrod nutných pro obrobení ploch tvárnice, čímž dojde ke značnému snížení času výrobního procesu a zároveň i k úspoře nákladů na výrobu dílu.

3.1 Volba stroje

Pro racionalizaci technologie obrábění bylo zvoleno ze strojního parku firmy vertikální CNC obráběcí centrum Trimill Speed 1110, patřící mezi nejnovější strojní vybavení, pořízeno v roce 2012. Tento obráběcí stroj je osazen řídicím systémem HEIDENHAIN iTNC 530, přes který je prováděna veškerá obsluha stroje.



Obr. 3.1 CNC obráběcí centrum Trimill Speed 1110 [21]

Jedná se o tuhý 3-osý obráběcí stroj, cíleně zkonstruovaný pro hrubování i dokončování na jedno upnutí, k obrábění lisovacích nástrojů, forem a zápuštěk. Velký pracovní prostor stroje umožňuje obrábět součásti větších rozměrů. Stroj je proveden jako portálové centrum typu horní gantry. Dokonalé tuhosti je dosahováno uzavřením konstrukce příčnicku (osa X) a křížového suportu s uvnitř uloženým čtyřnásobně vedeným smykadlem (osy Y a Z) [26].

Pevným uložením obrobku lze docílit vysoké kvality povrchu. Konstantních výsledků při obrábění je dosahováno z důvodu rovnoměrného termosymetrického vedení [26].

Tab. 3.1 Technická data CNC obráběcího stroje Trimill Speed 1110 [26]

Pojezdy	
Osa X [mm]	1100
Osa Y [mm]	1000
Osa Z [mm]	700
Základní vřeteno Weiss / hlava	
Výkon (S1/100%) [kW]	25
Krouticí moment (S1/100%) [Nm]	170
Otáčky [min^{-1}]	14000
Upínací kužel	HSK-A80
Otevření v ose Z [mm]	950
Pracovní stůl	
Upínací plocha [mm]	1300 x 1370
Hmotnost obrobku [kg]	8000
Rychlost posuvu [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	30000
Zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]	3
Přesnost stroje dle VDI/DGQ 3441	
Přesnost polohování (X, Y, Z) [mm]	0,008
Opakovatelná přesnost polohování (X, Y, Z) [mm]	0,006
Zásobník nástrojů	
Počet nástrojů	30
Max. délka nástroje / hmotnost	300 / 12
Rozměry stroje	
Rozměry s dopravníkem třísek [mm]	4300 x 3550 x 3810
Hmotnost stroje cca. [kg]	16000

Nezbytnou výbavou stroje je laserová bezkontaktní sonda BLUM pro měření nástrojů, sonda HEIDENHAIN pro ustavování a měření obrobků s infračerveným přenosem a ruční ovladač HEIDENHEIN HR 410 pro snadnější ovládání stroje při seřizování [26].

*Obr. 3.2 Elektrovřeteno stroje [26]**Obr. 3.3 Pracovní prostor obráběcího centra [26]*

Mezi doplňující vybavení stroje patří přídavné satelitní elektrovřeteno IMT o výkonu 11 kW a maximálními otáčkami 30000 min^{-1} , které nese uplatnění při frézování s malým průměrem nástroje, kdy je potřeba vyšších otáček vřetene než při běžném obrábění.

*Obr. 3.4 Přídavné elektrovřeteno IMT s příslušenstvím*

3.2 Návrh produktivních nástrojů

Z nepřeberného množství katalogů a nabídek různých firem s obráběcími nástroji byla zvolena firma Sandvik Coromant, a to především díky jejímu širokému sortimentu nástrojů a přehlednosti katalogů a prospektů.

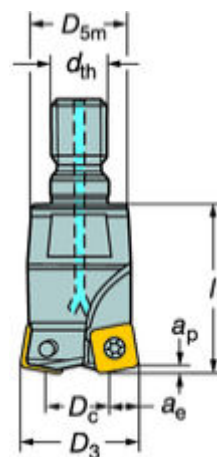
Miniaturní frézy byly vybrány od firmy Hitachi Tool Engineering Europe GmbH, která jako jedna z mála firem tyto speciální nástroje nabízí.

3.2.1 Kopírovací fréza

Pro vysoce produktivní hrubování byla zvolena dvoubřitá fréza s označením CoroMill 210 od firmy Sandvik Coromant. Jedná se o univerzální frézu pro frézování s vysokým posuvem. Systém upínání modulární frézy se závitovou spojkou je určen pro náročné obrábění forem a zápustek.



Obr. 3.5 Fréza CoroMill 210 [27]



Obr. 3.6 Rozměry frézy CoroMill 210 [27]

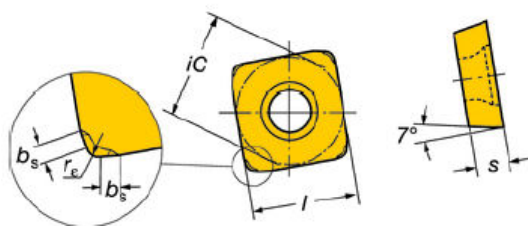
Tab. 3.2 Rozměry frézy CoroMill 210 [27]

Označení	D ₃ [mm]	D _c [mm]	l ₁ [mm]	a _p max [mm]	a _e max [mm]
R210-025T12-09M	25	10,9	35	1,2	8

Pro frézu CoroMill 210 byly zvoleny doporučené břitové destičky s označením R210-025T12-09M. Pro VBD byla zvolena karbidová třída GC1030 – P30 s PVD povlakem. Jedná se o první volbu pro nestabilní podmínky, např. pro nástroje s dlouhými břity, v případě hromadění třísek, při dlouhém vyložení nástroje nebo při frézování stopkovými frézami.



Obr. 3.7 VBD 14E-PM [27]



Obr. 3.8 Rozměry VBD 14E-PM [27]

Tab. 3.3 Rozměry VBD 14E-PM [27]

Označení	iC [mm]	s [mm]	b_s [mm]	r_ϵ [mm]
R210-09 04 14E-PM	9,5	4,5	0,8	1,4

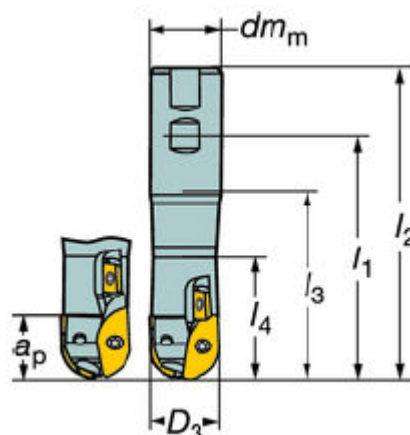
Pro frézování s velkou šířkou záběru pro karbidovou třídu GC1030 byla dle katalogu doporučena řezná rychlost $v_c = 195$ až $265 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Řezná rychlost byla zvolena $v_c = 260 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Pro frézu CoroMill 210 daného obráběného materiálu spolu s karbidovou třídou GC1030 se v katalogu uvádí doporučené hodnoty posuvu $f_z = 0,4$ až 2 mm . Posuv na zub byl zvolen $f_z = 1,5 \text{ mm}$.

3.2.2 Fréza s kulovým čelem

Pro zbytkové hrubování a pro předdokončování byla zvolena stopková fréza s kulovým čelem CoroMill Ball Nose s upínáním Weldon, umožňující velký úběr materiálu při polodokončovacím tvarovém obrábění.



Obr. 3.9 Fréza CoroMill Ball Nose [27]



Obr. 3.10 Rozměry frézy CoroMill Ball Nose [27]

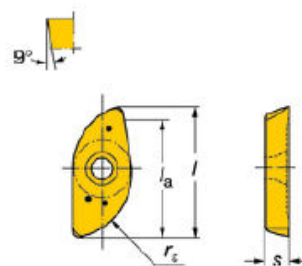
Tab. 3.4 Rozměry frézy CoroMill Ball Nose [27]

Označení	D_3 [mm]	l_2 [mm]	l_3 [mm]	l_4 [mm]	a_p [mm]	dm_m [mm]
R216-12B20-060	12	111	60	20	10,8	20

Pro frézu CoroMill Ball Nose byly zvoleny doporučené břitové destičky s označením R216-12 02 E-M spolu s VBD pro ochranu stopky R216-12 02M. Pro břitové destičky byla zvolena karbidová třída GC1025 – P30 s PVD povlakem pro lehké až střední frézování oceli.



Obr. 3.11 VBD E-M [27]



Obr. 3.12 Rozměry VBD E-M [27]

Tab. 3.5 Rozměry VBD E-M [27]

Označení	r_ϵ [mm]	l_a [mm]	l [mm]	s [mm]
R216-12 02 E-M	6	10,8	12	2,38

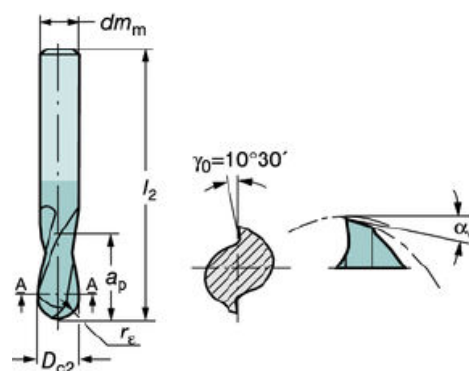
Doporučená řezná rychlost dle katalogu výrobce v závislosti na obráběném materiálu a karbidové třídě GC1025 se uvádí $v_c = 210$ až $280 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Byla zvolena řezná rychlost $v_c = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Posuv na zub dle doporučení z katalogu byl zvolen $f_z = 0,045 \text{ mm}$.

3.2.3 Monolitní kulové frézy

Pro dokončování tvarových ploch byly zvoleny tvrdokovové monolitní kulové frézy CoroMill Plura různých průměrů. Karbidová třída GC1620 je pro tyto kulové frézy typická.



Obr. 3.13 Fréza CoroMill Plura [27]



Obr. 3.14 Rozměry frézy CoroMill Plura [27]

Tab. 3.6 Rozměry fréz CoroMill Plura [27]

Označení	D_{c2} [mm]	z_n [mm]	dm_m [mm]	l_2 [mm]	r_ϵ [mm]
R216.44-12030-AK26N	12	4	12	100	6
R216.44-06030-AK13N	6	4	6	80	3
R216.44-03030-AK08N	3	4	6	80	1,5

Řezná rychlost dle katalogu výrobce v závislosti na obráběném materiálu a karbidové třídě GC1620 se doporučuje $v_c = 275 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

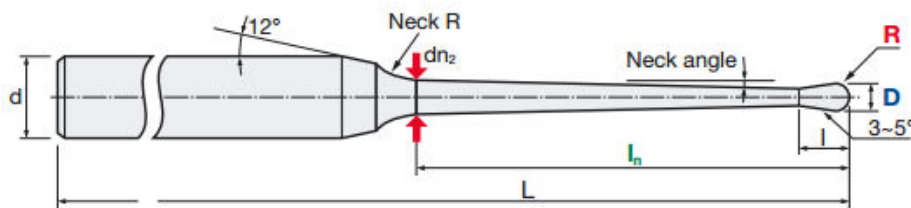
Posuv na zub dle doporučení katalogu se uvádí pro jednotlivé průměry nástroje rozlišně. Pro frézu $\varnothing 12 \text{ mm}$ je posuv na zub $f_z = 0,139 \text{ mm}$, pro frézu $\varnothing 6 \text{ mm}$ je $f_z = 0,099 \text{ mm}$ a pro frézu $\varnothing 3 \text{ mm}$ je posuv na zub $f_z = 0,07 \text{ mm}$.

3.2.4 Miniaturní kulové frézy

Pro vytvoření malých dutin, žebér, koutů a ploch s malým zaoblením rohů byly vybrány miniaturní frézy s označením EPDBPE o dvou průměrech. Použitím těchto miniaturních fréz lze tyto těžkopřístupné oblasti bez problémů obrobit. Frézy byly zvoleny s ohledem na rozměry dutin a koutů tvárnice. Fréza o $\varnothing 2 \text{ mm}$ se použije pro předhrubování dutin, kde zůstalo větší množství materiálu z předchozích operací a fréza o $\varnothing 1 \text{ mm}$ se použije pro dokončování zejména koutů s malým zaoblením rohů.



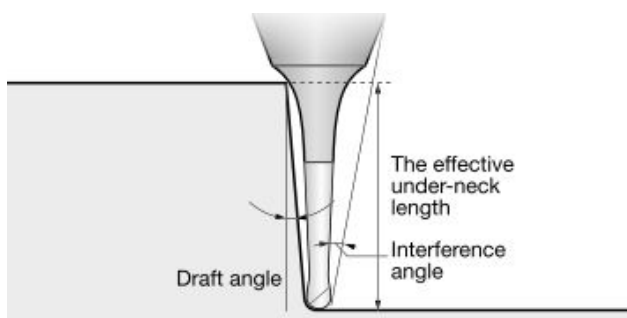
Obr. 3.15 Miniaturní fréza EPDBPE [12]



Obr. 3.16 Rozměry miniaturní frézy EPDBPE [12]

Tab. 3.7 Rozměry miniaturní frézy EPDBPE [12]

Označení	D [mm]	d [mm]	Ln [mm]	dn2 [mm]	L [mm]
EPDBPE-2020-35-09-ATH	2	6	35	2,966	75
EPDBPE-2010-35-09-ATH	1	6	35	2,015	80



Obr. 3.17 Účinná délka obrábění frézy EPDBPE [12]

Tab. 3.8 Účinná délka obrábění při jednotlivých úhlech stěn [12]

Označení	0,5°	1°	1,5°	2°	3°
EPDBPE-2020-35-09-ATH	8,3	36,66	38,08	39,02	-
EPDBPE-2010-35-09-ATH	5,47	36,55	38,04	39	43,12

Fréza umožňuje obrábět materiály až do tvrdosti 60 HRC. Jedná se o karbidovou frézu s jemnou strukturou zrn. Na miniaturní fréze je nanesen metodou PVD nanopovlak TH60+ (TiSiN), který prodlužuje životnost nástroje díky velké odolnosti proti otěru.

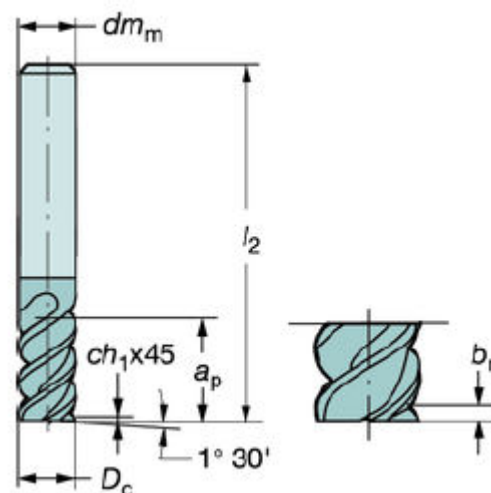
Řezná rychlost byla zvolena dle doporučení firmy $v_c = 89 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Posuv na zub byl zvolen dle doporučení firmy na $f_z = 0,037 \text{ mm}$.

3.2.5 Čelní stopková fréza pro dokončování

Pro frézování odlehčení po obvodu tvárnice a ostrých rohů byla zvolena čelní stopková fréza CoroMill Plura s karbidovou třídou GC1620.



Obr. 3.18 Čelní stopková fréza CoroMill Plura [27]



Obr. 3.19 Rozměry čelní stopkové frézy CoroMill Plura [27]

Tab. 3.9 Rozměry čelní stopkové frézy CoroMill Plura [27]

Označení	D_c [mm]	z_n [mm]	dm_m [mm]	l_2 [mm]	b_n [mm]
R215.36-12050-AC26L	12	6	12	83	0,12

Řezná rychlost dle doporučení katalogu pro danou obráběnou ocel a karbidovou třídu byla zvolena $v_c = 140 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Posuv na zub byl doporučen firmou na $f_z = 0,071 \text{ mm}$.

3.2.6 Řezné parametry

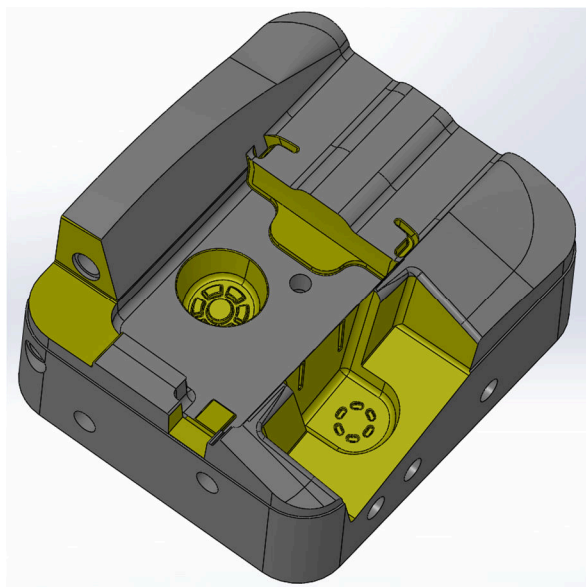
V následující tabulce jsou shrnuty řezné parametry pro novou technologii obrábění.

Tab. 3.10 Řezné parametry pro navrženou technologii obrábění

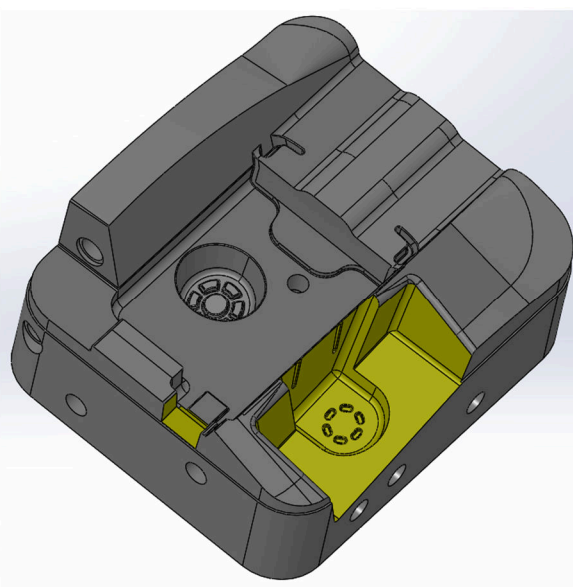
Nástroj (Označení)	Operace	v_c [$m \cdot min^{-1}$]	f_z [mm]	a_p [mm]
R210-025T12-09M	Hrubování	260	1,5	1
R216-12B20-060	Zbytkové hrubování	240	0,045	2
R216-12B20-060	Předdokončování	240	0,045	0,3
R216.44-12030-AK26N	Dokončování	275	0,139	0,25
R216.44-06030-AK13N	Dokončování koutů	275	0,099	0,2
R216.44-03030-AK08N	Dokončování koutů	275	0,07	0,15
EPDBPE-2020-35-09-ATH	Předdokončování dutin a koutů	89	0,037	0,15
EPDBPE-2010-35-09-ATH	Dokončování dutin a koutů	89	0,037	0,15
R215.36-12050-AC26L	Odlehčení	140	0,071	5

3.2.7 Elektrorody pro elektroerozivní obrábění

V případě použití miniaturních fréz se docílí obrobení více ploch, které se předtím musely obrábět za pomoci elektroerozivního hloubení. I přesto je nutno některé plochy obrobit elektroerozivně z důvodu extrémního vyložení nástroje a zkosených ploch s ostrou hranou. Počet elektrod se zredukuje na sedm. Porovnání obráběných ploch při současné technologii výroby a při racionalizaci je uvedeno na následujících obrázcích.



Obr. 3.20 Plochy elektroerozivního obrábění
před racionalizací



Obr. 3.21 Plochy elektroerozivního obrábění
po racionalizaci

4 Realizace programu v CAM systému Mastercam

Mastercam je CAD/CAM software americké firmy CNC Software, Inc z Connecticut, která se řadí mezi nejrozšířenější systémy pro programování NC strojů na světě. Jedná se o modulový systém s mnoha konfiguracemi pro maximální využití v jednotlivých odvětvích jako soustružení, frézování, drátové řezání nebo umělecký design.

Možnost programování:

- Soustruhy 2-osé, 4-osé, více vřeten, více hlav
- Frézky 2,5D až 5D
- Drátové řezání 2-osé, 4-osé
- Router – programování dřevoobráběcích strojů
- Art – umělecké předměty
- Multifunkční obráběcí stroje

Mastercam není jen obyčejný CAM systém, ale součástí je možnost plnohodnotného kreslení a modelování součástí od jednodušších až po více složité modely. Výhodou je také akceptování formátů souborů z jakéhokoliv systému, včetně IGES, Parasolid, AutoCAD, Solidworks, Solid Edge a mnoha dalších [28].

4.1 Mastercam frézování

Mastercam frézování nabízí širokou škálu řešení jak pro 2D, tak pro 3D nebo víceosé frézování. Nabízí rozsáhlý výběr drah nástroje ke splnění úkolu více než jednou cestou. Po naprogramování dílce lze modifikovat jakýkoliv prvek práce a obratem získat aktualizované dráhy nástroje bez nutnosti začít znovu.

2,5D obrábění

Tento způsob obrábění zahrnuje celou škálu operací od velmi jednoduchých až po složité. Mastercam umožňuje použití veškerých nástrojů potřebných pro tyto operace. Obrábění útvarů (FBM) slouží pro automatické programování kapes, kontur a vrtacích cyklů na modelech s možností změny strategie kdykoliv během programování spolu s automatickou definicí najetí a vyjetí pro hrubovací a dokončovací záběry. Pro odebrání zbytkového materiálu z předešlé operace slouží strategie zbytkového obrábění kontur a kapes, která za pomoci menšího nástroje obrobí ponechaný materiál.

3D obrábění

3D dráhy nástroje v Mastercamu umožňují jedinečné řízení obrábění ploch, propracované dokončování a optimalizované doby pracovních cyklů. Použitím strategie hybridní dokončování lze vytvořit jednu dráhu nástroje, která mění obráběcí metody podle tvaru modelu.

Výkonné hrubovací strategie jsou nezbytné pro účinné NC programování. Mastercam poskytuje celou řadu těchto hrubovacích strategií:

- Hrubování vícenásobných plošných a solid modelů
- Hrubování s konstantními Z profily
- Hrubování sestupnými rovnoběžnými nebo radiálními záběry
- Hrubování odvrtáváním
- Zbytkové hrubování Z průřezy menším nástrojem

Vysokorychlostní strategie obrábění

Mastercam obsahuje řadu HSM funkcí speciálně navržených tak, aby pomohly z této techniky vytěžit maximum i při absenci vysokorychlostního stroje.

- Vysokorychlostní dráhy nástroje pro 2D a 3D obrábění
- Dynamické frézování pro využití celé řezné délky nástroje
- Obrysové obrábění s hladkým konzistentním rampovým pohybem
- Vysokorychlostní obrábění s konstantní drsností
- Vysokorychlostní obrábění konstantními Z průřezy s plynulými vstupy a výstupy
- Vysokorychlostní tužkové obrábění pro odebrání zbytkového materiálu
- Inteligentní hrubování směrem zvenku dovnitř
- Zbytkové hrubování pro plynulé odebrání materiálu z předchozího hrubovacího záběru

Simulace obrábění

Mastercam obsahuje propracovanou kontrolu a měření dílce z modelu polotovaru a detekci kolize nástroje včetně držáku. Po vykreslení dráhy nástroje lze zobrazit užitečné informace o čase obrábění, hodnotách posuvu a otáček. Ve kterémkoliv bodě lze sledovat polohu nástroje spolu s rychlou 2D verifikací drah nástroje pro detekci neobrobených ploch s plným vykreslením nástroje [28].

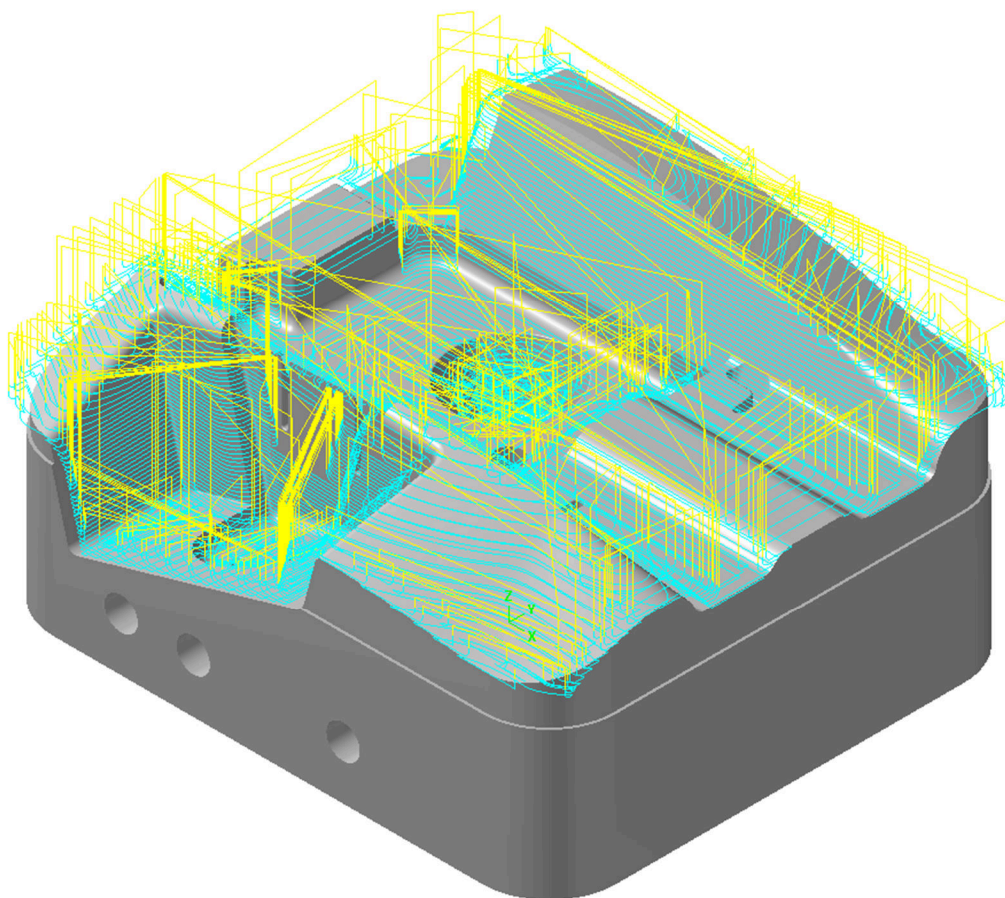
4.2 Tvorba programu

Při tvorbě technologie výroby – programu pro součást tvárnice byla využita verze Mastercam X7 Demo s modulem pro frézování, dostupná pro výukové účely zdarma.

Před samotnou tvorbou jednotlivých obráběcích strategií je potřeba samotný dílec vytvořit nebo přenést do prostředí Mastercamu. Jelikož se jedná o tvarově složitý dílec vytvořený v externím programu, byl model do prostředí Mastercamu importován.

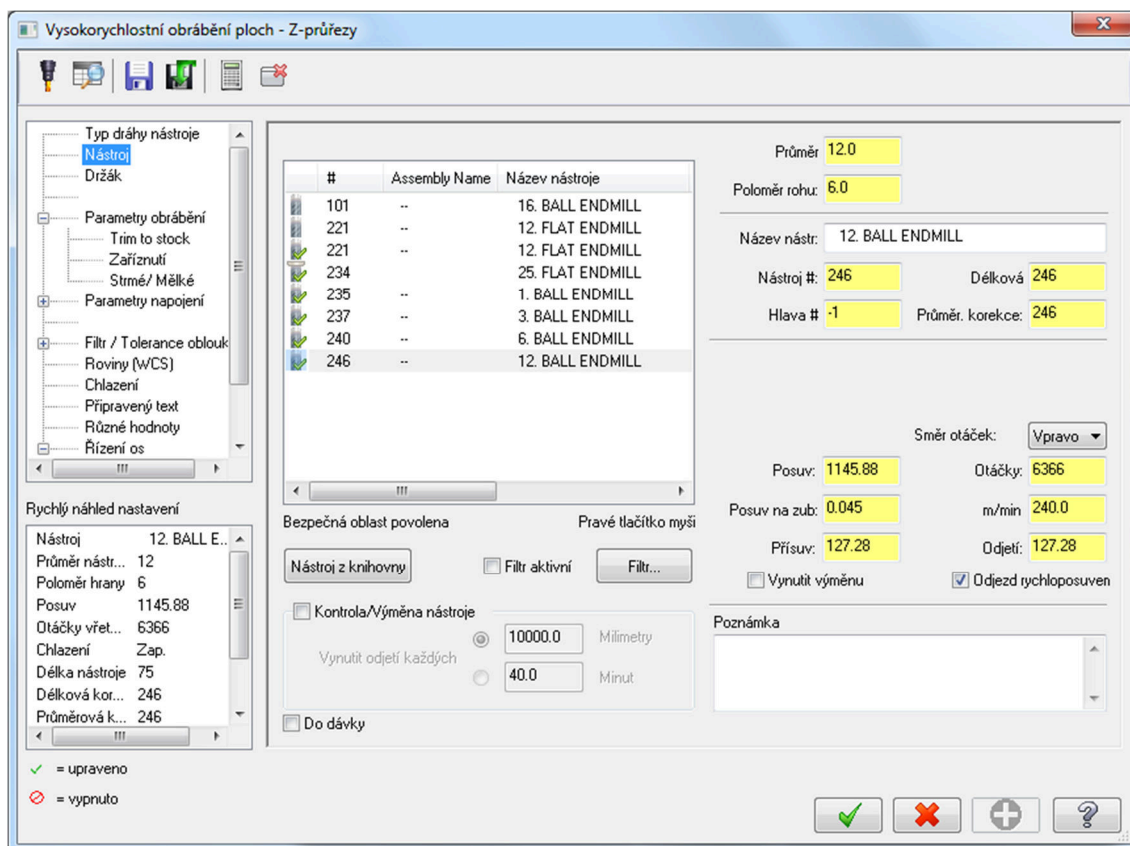
Nezbytným krokem je také volba typu obráběcího stroje, v našem případě frézka, nadefinování výchozího polotovaru pro tvárnici a určení nulového bodu obrobku (W), umístěného dle zvyklostí firmy na spodní straně ve středu obrobku.

Stěžejní částí při tvorbě programu je definování jednotlivých obráběcích strategií, které vytvoří potřebné dráhy nástroje pro pohyb nástroje. Hrubovací strategie spolu se strategií zbytkového hrubování (obr. 4.1) odebere z polotovaru největší množství materiálu a zanechá navolený přídavek 0,5 mm pro předdokončování. Strategie Z-průřezy a řádkování jsou ideální volbou pro dokončovací operace spolu se strategií zbytkové dokončování ploch a tužkovým obráběním, které odeberou zbytkový materiál z předchozích operací.



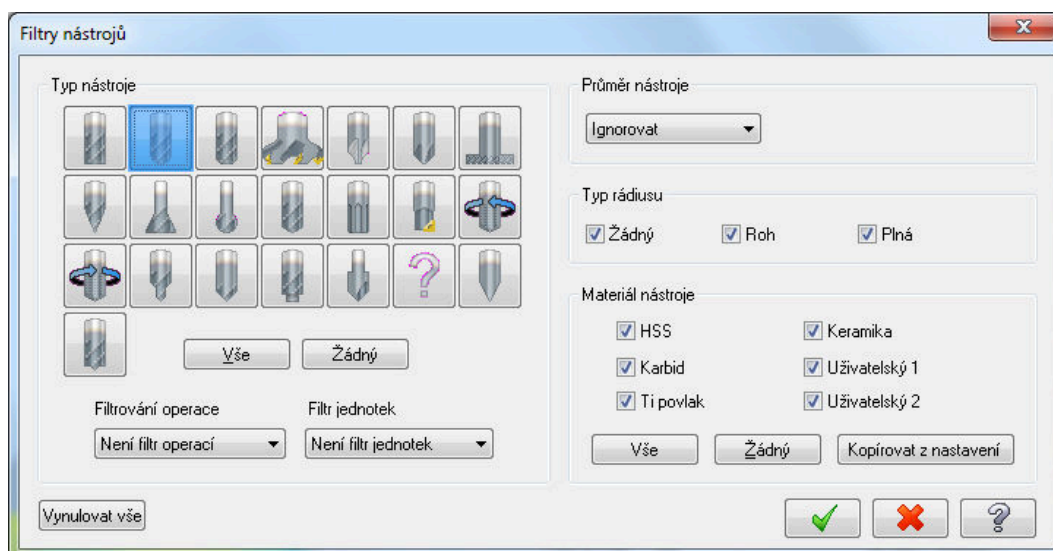
Obr. 4.1 Dráhy nástroje při strategii zbytkové hrubování

U každé jednotlivé strategie je nutno zvolit plochy, na které se bude daná strategie aplikovat spolu s volbou nástroje a řezných podmínek v otevřeném dialogovém okně parametrů pro obrábění (obr. 4.2).



Obr. 4.2 Výběr nástroje a řezných podmínek

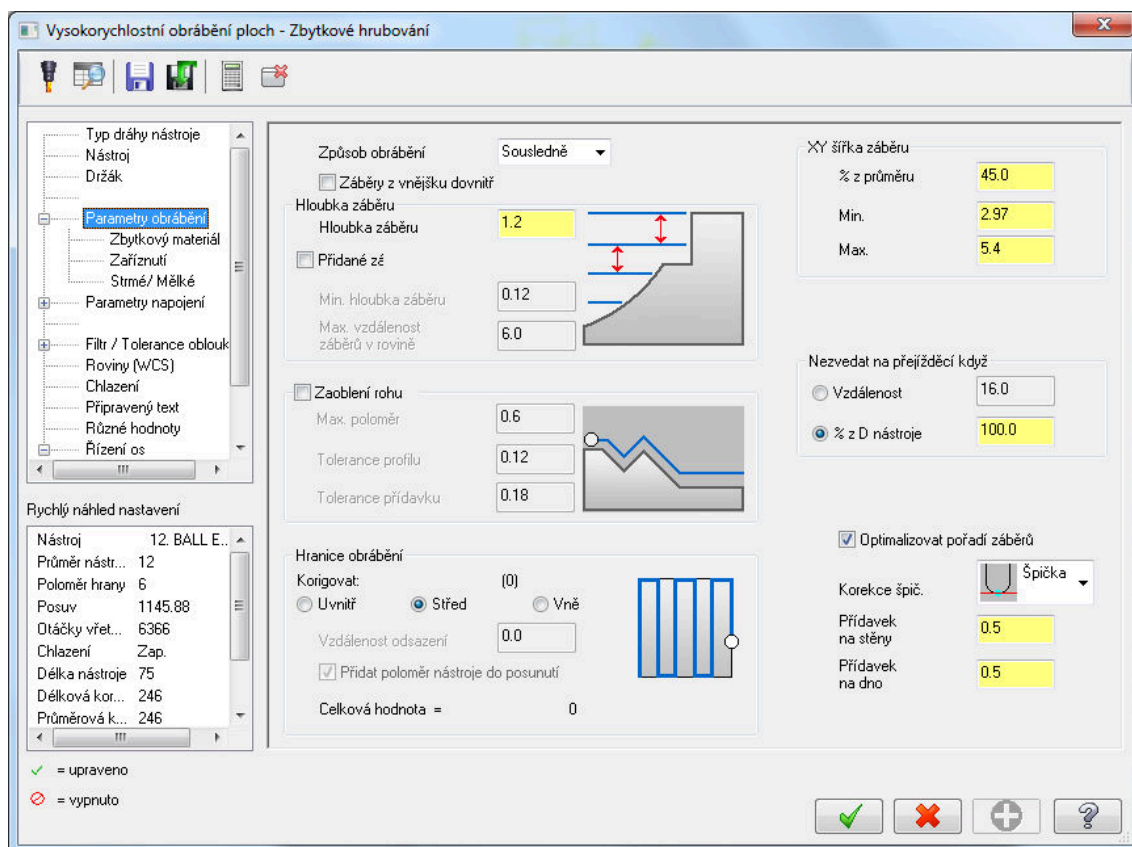
Nástroje se volí z předdefinovaných knihoven nástrojů nebo pomocí průvodce lze jednotlivé nástroje snadným způsobem vytvořit. Pomůckou je také filtr nástrojů (obr. 4.3) umožňující rychlé vyhledání požadovaného nástroje podle typu či řezného materiálu.



Obr. 4.3 Filtry nástrojů

Řezné parametry doporučené z katalogu výrobců řezných nástrojů se vyplňují do odpovídajících buněk v dialogovém okně. Při zadání řezné rychlosti a posuvu na zub program automaticky vypočítá zbylé buňky jako jsou otáčky a posuv.

Parametry obrábění (obr 4.4) jednotlivých strategií (šířka záběru, hloubka záběru, přídavek na obrábění atd.) se vyplňují stejným způsobem jako řezné podmínky v další kartě dialogového okna. Parametry v dialogovém okně se liší dle zvolené strategie obrábění.



Obr. 4.4 Parametry obrábění – zbytkové hrubování

5 Technicko-ekonomické zhodnocení návrhu

Při provádění technicko-ekonomického zhodnocení navržené technologie výroby se v případě stávající výroby vychází ze skutečných výrobních časů poskytnutých firmou S-KUNSTSTOFFTECHNIK s.r.o. Výrobní časy navržené technologie výroby vyplývají ze simulace obrábění v CAM systému Mastercam.

Současná a navržená technologie výroby je porovnávána pomocí časové a finanční úspory, která se získá díky snížení výrobních časů u nově navržené technologie výroby.

V technicko-ekonomickém zhodnocení se budeme zabývat pouze zhodnocením racionalizovaných operací – frézování přední strany (operace č. 5) a elektroerozivní hloubení (operace č. 6) tzn. zhotovením tvarové části tvárnice.

5.1 Stanovení úspory času při výrobě dílu

Současná technologie výroby

Jednotlivé časy operací jsou uvedeny dle technologického postupu stávající výroby z podkladů firmy S-KUNSTSTOFFTECHNIK s.r.o.

K časům jednotlivých operací je nutno připočítat také časy vedlejší, které zahrnují tvorbu řídicích programů pro výrobu, seřízení strojů a nástrojů atd. V neposlední řadě je nutno připočíst čas přípravy modelů jednotlivých elektrod spolu s přípravou řídicích programů pro následné frézování těchto elektrod. Nástrojové elektrody byly následně použity při elektroerozivním hloubení, jejichž velké množství vedlo při stávající technologii ke značnému prodloužení výrobního času.

Čas frézování – přední strana (operace č. 5)	$t_{SF} = 16,5 \text{ h}$
Čas elektroerozivního hloubení (operace č. 6)	$t_{SE} = 28 \text{ h}$
Čas přípravy řídicího programu pro CNC obráběcí centrum	$t_{PF} = 6 \text{ h}$
Čas přípravy a seřízení CNC obráběcího centra	$t_{PVF} = 0,5 \text{ h}$
Čas modelování jednotlivých elektrod	$t_{PM} = 15 \text{ h}$
Čas přípravy řídicích programů pro obrábění grafitových elektrod	$t_{PE} = 8 \text{ h}$
Čas přípravy a seřízení frézky pro obrábění grafitových elektrod	$t_{PVE} = 0,5 \text{ h}$
Čas frézování elektrod pro EDM	$t_{FE} = 27 \text{ h}$
Čas přípravy a seřízení elektroerozivní hloubičky	$t_{PVA} = 0,5 \text{ h}$

$$\begin{aligned}
 t_S &= t_{SF} + t_{SE} + t_{PF} + t_{PVF} + t_{PM} + t_{PE} + t_{PVE} + t_{FE} + t_{PVA} \\
 t_S &= 16,5 + 28 + 6 + 0,5 + 15 + 8 + 0,5 + 27 + 0,5 \\
 \mathbf{t_S} &= \mathbf{102\ h}
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

Při stávající technologii výroby je celkový čas výroby tvarové části dílu tvárnice přibližně 102 hodin.

Navržená technologie výroby

U nově navržené technologie výroby se razantně sníží čas frézovací operace přední strany v důsledku použití produktivnějších nástrojů a čas operace elektroerozivního hloubení snížením počtu nástrojových elektrod.

Čas frézování – přední strana (operace č. 5)	$t_{NF} = 11,5\ h$
Čas elektroerozivního hloubení (operace č. 6)	$t_{NE} = 17\ h$
Čas přípravy řídicího programu pro CNC obráběcí centrum	$t_{PF} = 7\ h$
Čas přípravy a seřízení CNC obráběcího centra	$t_{PVF} = 0,5\ h$
Čas modelování jednotlivých elektrod	$t_{PM} = 7,5\ h$
Čas přípravy řídicích programů pro obrábění grafitových elektrod	$t_{PE} = 4\ h$
Čas přípravy a seřízení frézky pro obrábění grafitových elektrod	$t_{PVE} = 0,5\ h$
Čas frézování elektrod pro EDM	$t_{FE} = 12,5\ h$
Čas přípravy a seřízení elektroerozivní hloubičky	$t_{PVA} = 0,5\ h$

$$\begin{aligned}
 t_N &= t_{SF} + t_{SE} + t_{PF} + t_{PVF} + t_{PM} + t_{PE} + t_{PVE} + t_{FE} + t_{PVA} \\
 t_N &= 11,5 + 17 + 7 + 0,5 + 7,5 + 4 + 0,5 + 12,5 + 0,5 \\
 \mathbf{t_N} &= \mathbf{61\ h}
 \end{aligned}
 \tag{5.2}$$

Při nově navržené technologii výroby je celkový čas výroby tvarové části dílu tvárnice přibližně 61 hodin.

Celková úspora času při výrobě dílu

Úspora času obrábění se vypočítá jako rozdíl mezi hodnotou času současné technologie výroby a celkového času navržené nové technologie výroby.

$$UC = t_S - t_N \quad (5.3)$$

$$UC = 102 - 61$$

$$UC = 41 \text{ h}$$

Celková úspora času s využitím nové technologie výroby je 41 hodin.

5.2 Porovnání současné a navržené technologie

Porovnání současné a navržené technologie výroby vychází z úspory času výroby dílu ku času výroby současnou technologií.

$$PT = \frac{UC}{t_S} \cdot 100 \quad (5.4)$$

$$PT = \frac{41}{102} \cdot 100$$

$$PT = 40,2 \%$$

Nově navržená technologie výroby je o 40,2 % úspornější než současná technologie výroby.

5.3 Porovnání nákladů na výrobu dílu

Současná technologie výroby

Hodinové sazby pro jednotlivé pracoviště (stroje) byly poskytnuty firmou S-KUNSTSTOFFTECHNIK s.r.o. a zahrnují jak náklady na výrobu, mzdy obsluhy stroje, tak pravidelné odpisy strojů i nástrojů. Dále je zohledněna cena materiálu pro výrobu grafitových elektrod pro EDM.

Hodinová sazba pro CNC obráběcí centrum MCV 750 Sprint	$H_M = 600 \text{ Kč}$
Hodinová sazba pro CNC frézku HWT D-442 CNC	$H_H = 400 \text{ Kč}$
Hodinová sazba pro elektroerozivní hloubičku Agietron Sprint 3	$H_A = 700 \text{ Kč}$
Hodinová sazba programátora CNC strojů	$H_P = 500 \text{ Kč}$
Hodinová sazba konstruktéra grafitových elektrod	$H_K = 500 \text{ Kč}$
Cena materiálu pro výrobu 15 grafitových elektrod	$C_G = 7700 \text{ Kč}$

$$N_S = (t_{SF} + t_{PVF}) \cdot H_M + (t_{FE} + t_{PVE}) \cdot H_H + (t_{SE} + t_{PVA}) \cdot H_A + (t_{PF} + t_{PE}) \cdot H_P + t_{PM} \cdot H_K + C_G \quad (5.5)$$

$$N_S = (16,5 + 0,5) \cdot 600 + (27 + 0,5) \cdot 400 + (28 + 0,5) \cdot 700 + (6 + 8) \cdot 500 + 15 \cdot 500 + 7700$$

$$N_S = 63350 \text{ Kč}$$

Navržená technologie výroby

Hodinová sazba pro CNC obráběcí centrum Trimill Speed 1110	$H_T = 850 \text{ Kč}$
Hodinová sazba pro CNC frézku HWT D-442 CNC	$H_H = 400 \text{ Kč}$
Hodinová sazba pro elektroerozivní hloubičku Agietron Sprint 3	$H_A = 700 \text{ Kč}$
Hodinová sazba programátora CNC strojů	$H_P = 500 \text{ Kč}$
Hodinová sazba konstruktéra grafitových elektrod	$H_K = 500 \text{ Kč}$
Cena materiálu pro výrobu 7 grafitových elektrod	$C_G = 4100 \text{ Kč}$

$$N_N = (t_{NF} + t_{PVF}) \cdot H_T + (t_{FE} + t_{PVE}) \cdot H_H + (t_{NE} + t_{PVA}) \cdot H_A + (t_{PF} + t_{PE}) \cdot H_P + t_{PM} \cdot H_K + C_G \quad (5.6)$$

$$N_N = (11,5 + 0,5) \cdot 850 + (12,5 + 0,5) \cdot 400 + (17 + 0,5) \cdot 700 + (7 + 4) \cdot 500 + 7,5 \cdot 500 + 4100$$

$$N_N = 41000 \text{ Kč}$$

Náklady na pořízení nástrojů se nezapočítávají, jejich cena je zohledněna v hodinových sazbách jednotlivých strojů. Jedná se o univerzální nástroje, které po vykonání práce mohou být dále využity i v jiných zakázkách.

Celková úspora nákladů při výrobě dílu

$$UN = N_S - H_N \quad (5.7)$$

$$UN = 63350 - 41000$$

$$UN = 22350 \text{ Kč}$$

Nově navržená technologie výroby je úspornější v přepočtu o 22350 Kč. Pokud bude bráno v úvahu, že každý rok firma touto technologií může obrobit až 50 součástí podobného typu, bude se jednat o značnou úsporu jak finanční tak časovou, která může být využita pro případné nové zakázky.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo navržení inovativního řešení pro výrobu dílu – tvárnice, sloužící jako hlavní prvek formy pro vstřikování plastů v automobilovém průmyslu. Nové řešení mělo vést k zefektivnění výroby daného dílu, snížení výrobních časů a nákladů na jeho výrobu.

V první části práce byl proveden rozbor stávající technologie výroby spolu se všemi použitými stroji a nástroji, které byly potřeba při výrobě dílu. Bylo zjištěno, že pro výrobu tvarové části tvárnice bylo použito velké množství nástrojových elektrod pro elektroerozivní obrábění i přes to, že některé plochy je možno obrobit frézováním miniaturními frézami. Použití takto velkého počtu nástrojových elektrod má za následek prodloužení času výroby zejména proto, že je nutno každou elektrodu vyrobít zvlášť a až následně poté je možné touto elektrodou obrábět. Samotná příprava, výroba elektrod a následné obrábění je velmi časově náročné, proto bylo vhodné navrhnout nové řešení s použitím miniaturních fréz.

Druhá část práce se zabývala návrhem nové technologie výroby, která spočívá ve zvolení výkonnějšího a přesnějšího obráběcího centra Trimill Speed 1110, umožňující také nasazení vyšších otáček vřetene, nezbytných pro obrábění s nástroji malého průměru, oproti stávajícímu stroji MCV 750 Sprint. Dále se tato část práce zabývala volbou produktivních nástrojů, umožňujících nasazení příznivějších řezných parametrů, a volbou speciálních miniaturních fréz pro obrábění malých dutin a ploch s malým zaoblením rohů, jejichž obrábění se doposud řešilo časově náročným elektroerozivním obráběním.

Poslední část diplomové práce se zabývala realizací programu v CAM systému Mastercam, s definováním jednotlivých obráběcích strategií spolu s navrženými řeznými nástroji.

Z výsledků plynoucích z technicko-ekonomického zhodnocení stávající a navržené technologie výroby vyplynul závěr, že nově navržená technologie výroby poskytne značnou časovou úsporu 40,2 % respektive finanční úsporu výrobních nákladů 22350 Kč.

Dle zjištěných poznatků vyplývá, že nově navržená technologie výroby s využitím produktivních nástrojů a miniaturních fréz je vhodná pro aplikaci do výrobního procesu firmy S-KUNSTSTOFFTECHNIK s.r.o.

Na tomto místě bych chtěl především poděkovat vedoucí diplomové práce paní Ing.et Ing. Mgr. Janě Petrů, Ph.D., z katedry obrábění, montáže a strojírenské metrologie VŠB – TU Ostrava, za cenné rady a připomínky při zpracování diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat firmě S-KUNSTSTOFFTECHNIK s.r.o. v Kravařích za umožnění zpracování diplomové práce v jejich společnosti, především pak panu Bc. Michalu Sněhotovi za poskytnuté podklady, informace a podporu při zpracování diplomové práce.

Seznam použité literatury

- [1] STOIČ, A., J. KOPAČ a G. CUKOR. Testing of machinability of mould steel 40CrMnMo7 using genetic algorithm. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2005, 164-165, s. 1624-1630 [cit. 2015-01-29]. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2005.01.013. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013605001147>
- [2] URBANSKI, J.P., P. KOSHY, R.C. DEWES a D.K. ASPINWALL. High speed machining of moulds and dies for net shape manufacture. *Materials* [online]. 2000, vol. 21, issue 4 [cit. 2015-01-29]. DOI: 10.1016/S0261-3069(99)00092-8. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306999000928>
- [3] KOČMAN, K., J. PROKOP a A. KOČMANOVÁ. Ekologické a technologické aspekty HSC obrábění. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001 [cit. 2015-01-29]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/ekologicke-a-technologicke-aspekty-hsc-obrabeni.html>
- [4] Důležité aspekty vysokorychlostního obrábění. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002 [cit. 2015-01-29]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/dulezite-aspekty-vysokorychlostniho-obrabeni.html>
- [5] Jak na výběr optimálního nástroje pro obrábění forem. In: *PRŮMYSL.cz* [online]. 2013 [cit. 2015-01-29]. Dostupné z: <http://www.prumysl.cz/jak-na-vyber-optimalniho-nastroje-pro-obrabeni-forem/>
- [6] SKOPEČEK, T. a P. HOFMANN. Frézovací strategie při výrobě forem a zápusťek. In: HOFMANN. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2005 [cit. 2015-01-29]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/frezovaci-strategie-pri-vyrobe-forem-a-zapustek.html>
- [7] POSPÍŠIL, J. Tvorba technologie obrábění pomocí CAM systému. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2013 [cit. 2015-01-29]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/tvorba-technologie-obrabeni-pomoci-cam-systemu.html>
- [8] HÁJÍČEK, Z. Obrábění vstříkovací formy. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2013 [cit. 2015-01-29]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-vstrikovaci-formy.html>

- [9] RAŠA, J. a Z. KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění. In: MM Průmyslové spektrum [online]. 2007 [cit. 2015-01-13]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonecni-metody-obrabeni.html>
- [10] SADÍLEK, M. Nekonenční metody obrábění. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2107-8.
- [11] JANOUŠEK, V. Frézování kontra elektroeroze ve výrobě vstřikovacích forem. In: MM Průmyslové spektrum [online]. 2005 [cit. 2015-01-28]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/frezovani-kontra-elektroeroze-ve-vyrobe-vstrikovacich-forem.html>
- [12] Solid Carbide End Mills - Miniature. Hitachi Tool Engineering Europe GmbH [online]. 2015 [cit. 2015-01-28]. Dostupné z: <http://www.hitachitool-eu.com/en/products/solid/group/miniature/index.php>
- [13] 1.2311 (40CrMnMo7, 19 520). PRECIZ, s.r.o. [online]. © 2012 [cit. 2015-01-12]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.2311>
- [14] 1.2311 (40CrMnMo7). ÖZ ÇELİK TİCARET LTD.ŞTİ. [online]. © 2015 [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: <http://www.ozct.com.tr/en/pdf/1.2311%2040CrMnMo7.pdf>
- [15] GRODNAMID PA6-GF20 M10: Material Data Sheet. Grodno Azot [online]. © 2010 [cit. 2015-02-27]. Dostupné z: <http://grodno-khim.by/upload/iblock/04b/PA6-GF20%20M10.pdf>
- [16] HENDRYCH, J., A. WEBER a J. DOLEŽEL. Standardizace rámců a součástí forem pro vstřikování termoplastů. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1986.
- [17] Miroslav Pilčík - kovoobrábění, zámečnictví, lyžařské vleky [online]. 2015 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://www.kovo-pilcik.cz/>
- [18] BPH 20 NA (N). Opravybrusek.cz [online]. © 2009 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://www.opravybrusek.cz/stroje/BPH20NA/>
- [19] Strojní vybavení. Nástrojárna Zelenka [online]. 2015 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://www.nastrojarna-zelenka.cz/strojni-vybaveni.html>
- [20] KOVOSVIT MAS [online]. © 2015 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://www.kovosvit.cz/>
- [21] S-KUNSTSTOFFTECHNIK s.r.o. [online]. 2015 [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: <http://www.sktech.cz/>

- [22] Agietron - GF Machining Solutions. *GF Machining Solutions* [online]. 2015 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: http://www.gfms.com/content/dam/gfac/PDF-Documents/sales/USA/Literature/Archived-Literature/spirit_versatility.pdf
- [23] Frézky HWT: řada D. AZK [online]. 2015 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://www.azk.cz/line-d.php?lang=cz>
- [24] *Pramet Tools, s.r.o.* [online]. ©2015 [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/>
- [25] *DHF Precision Tool Co., Ltd.* [online]. © 2008 [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: <http://www.endmill.com.tw/>
- [26] *TRIMILL, a.s.* [online]. 2015 [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: <http://www.trimill.cz/>
- [27] *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/>
- [28] Mastercam frézování. *Sonotech* [online]. 2015 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: <http://www.sonotech.cz/frezovani/>

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Tvar třísky při obrábění oceli 1.2311 (40CrMnMo7) [1]	13
Obr. 1.2 Frézování vysokým posuvem nástrojem s VBD [5]	16
Obr. 1.3 Ukázka vyhrubované části formy hrubovací strategií [8]	18
Obr. 1.4 Ukázka části formy po dokončovací strategii [8]	19
Obr. 1.5 Princip zařízení pro elektroerozivní obrábění 1 – směr posuvu elektrody, 2 – nástrojová elektroda, 3 – generátor, 4 – lázeň s dielektrikem, 5 – dielektrikum, 6 – obrobek, 7 – elektrický výboj [9]	21
Obr. 1.6 Nástrojová elektroda vyrobená z grafitu [9]	22
Obr. 1.7 Miniaturní fréza EPDB od firmy Hitach Tool [12]	23
Obr. 1.8 Miniaturní fréza EPDS od firmy Hitach Tool [12]	23
Obr. 2.1 Model součásti tvárnice – přední pohled	25
Obr. 2.2 Polotovár pro výrobu tvárnice	26
Obr. 2.3 Model výlisku – pohled 1	27
Obr. 2.4 Model výlisku – pohled 2	27
Obr. 2.5 Pevná (trysková) část formy	29
Obr. 2.6 Pohyblivá část formy	29
Obr. 2.7 Kompletní sestava formy pro vstřikování plastů	29
Obr. 2.8 Sloupová vrtačka VR4 [17]	31
Obr. 2.9 Bruska BPH 20NA [19]	32
Obr. 2.10 CNC obráběcí centrum – MAS MCV 750 SPRINT [21]	33
Obr. 2.11 Elektroerozivní hloubička – AGIE – Agietron Spirit 3 [21]	34
Obr. 2.12 CNC frézka HWT D-442 CNC [21]	35
Obr. 2.13 Znázornění ploch pro frézování	37
Obr. 2.14 Kopírovací fréza SZD [24]	38
Obr. 2.15 Rozměry kopírovací frézy SZD [24]	38
Obr. 2.16 Geometrie nástroje při použití destičky ZDCW 070304 [24]	38
Obr. 2.17 VBD ZDCW [24]	39
Obr. 2.18 Rozměry VBD ZDCW [24]	39
Obr. 2.19 Použití řezného materiálu 7025 [24]	39
Obr. 2.20 Kulová fréza BTA [25]	40
Obr. 2.21 Rozměry kulové frézy BTA [25]	40
Obr. 2.22 Stopková fréza ETA [25]	41
Obr. 2.23 Rozměry stopkové frézy ETA [25]	41
Obr. 2.24 Znázornění ploch pro elektroerozivní obrábění	42

Obr. 2.25 Model nástrojové elektrody	42
Obr. 3.1 CNC obráběcí centrum Trimill Speed 1110 [21]	43
Obr. 3.2 Elektrovřeteno stroje [26]	45
Obr. 3.3 Pracovní prostor obráběcího centra [26]	45
Obr. 3.4 Přídavné elektrovřeteno IMT s příslušenstvím.....	45
Obr. 3.5 Fréza CoroMill 210 [27]	46
Obr. 3.6 Rozměry frézy CoroMill 210 [27]	46
Obr. 3.7 VBD 14E-PM [27]	47
Obr. 3.8 Rozměry VBD 14E-PM [27]	47
Obr. 3.9 Fréza CoroMill Ball Nose [27]	47
Obr. 3.10 Rozměry frézy CoroMill Ball Nose [27]	47
Obr. 3.11 VBD E-M [27]	48
Obr. 3.12 Rozměry VBD E-M [27]	48
Obr. 3.13 Fréza CoroMill Plura [27]	48
Obr. 3.14 Rozměry frézy CoroMill Plura [27]	48
Obr. 3.15 Miniaturní fréza EPDBPE [12]	49
Obr. 3.16 Rozměry miniaturní frézy EPDBPE [12]	49
Obr. 3.17 Účinná délka obrábění frézy EPDBPE [12]	49
Obr. 3.18 Čelní stopková fréza CoroMill Plura [27]	50
Obr. 3.19 Rozměry čelní stopkové frézy CoroMill Plura [27]	50
Obr. 3.20 Plochy elektroerozivního obrábění před racionalizací	51
Obr. 3.21 Plochy elektroerozivního obrábění po racionalizaci	51
Obr. 4.1 Dráhy nástroje při strategii zbytkové hrubování	54
Obr. 4.2 Výběr nástroje a řezných podmínek	55
Obr. 4.3 Filtry nástrojů	55
Obr. 4.4 Parametry obrábění – zbytkové hrubování	56

Seznam tabulek

Tab. 1.1 Hodnocení obrobitelnosti a vhodné řezné parametry [1]	14
Tab. 2.1 Chemické složení materiálu 1.2311 v % [14].....	26
Tab. 2.2 Označení materiálu v různých zemích [14].....	26
Tab. 2.3 Technologický postup výroby tvárnice	36
Tab. 2.4 Rozměry kopírovací frézy SZD [24]	38
Tab. 2.5 Geometrie nástroje při použití destičky ZDCW 070304 [24]	38
Tab. 2.6 Rozměry vyměnitelné břitové destičky ZDCW 070304 [24].....	39
Tab. 2.7 Rozměry kulových fréz BTA [25].....	40
Tab. 2.8 Rozměry stopkové frézy ETA [25]	41
Tab. 2.9 Řezné parametry při stávající výrobě tvárnice	41
Tab. 3.1 Technická data CNC obráběcího stroje Trimill Speed 1110 [26]	44
Tab. 3.2 Rozměry frézy CoroMill 210 [27].....	46
Tab. 3.3 Rozměry VBD 14E-PM [27].....	47
Tab. 3.4 Rozměry frézy CoroMill Ball Nose [27].....	47
Tab. 3.5 Rozměry VBD E-M [27]	48
Tab. 3.6 Rozměry fréz CoroMill Plura [27]	48
Tab. 3.7 Rozměry miniaturní frézy EPDBPE [12]	49
Tab. 3.8 Účinná délka obrábění při jednotlivých úhlech stěn [12].....	50
Tab. 3.9 Rozměry čelní stopkové frézy CoroMill Plura [27]	50
Tab. 3.10 Řezné parametry pro navrženou technologii obrábění	51

Seznam příloh

Příloha A	Reálný díl výlisku
Příloha B	Základní kódové značení fréz CoroMill
Příloha C	Základní kódové značení břitových destiček CoroMill
Příloha D	Kódové značení monolitních stopkových fréz CoroMill Plura
Příloha E	Výrobní výkres tvárnice F-0019-01-0